This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

$B 120 705

KOHLRAUSCH UND HOLBORN

LEITVERMÖGEN DER ELEKTROLYTE

MAY 17 1904

Leipzig.

Kohlraus ... -technischen Reichs-
ansta ... aktischen Physik,
mit e ... System. Mit in den
Text ... Auflage. [XXIV u.
492 S ... band geb. n. *M.* 7.—

Im ... denen der Inhalt des Leit-
fadens sich ... itert worden. Das Buch galt
ursprünglich ... iege es entstanden war, und
soll ihm n ... n, daſs der Praktikant das
Material fin ... nten zum Verständnis seiner
Aufgabe be ... llgemeinen an. In letzterer
Hinsicht ab ... nd zwar nicht nur um der
speziellen ... icht vorzugreifen, sondern
ebenso um ... ſs der geistigen Selbstthätig-
keit zu lass ...

Neb ... h das Bedürfnis der wissen-
schaftlichen ... praktikum hinübergreifenden
Aufgaben o ... Für genauere Arbeiten sind
Hinweise au ...

Die ... lem Volumen vermehrt. Die
Technik ph ... die Messung hoher Tempe-
raturen und ... en und Transformatoren, die
Bestimmung ... owie physikalisch-chemische
Methoden h ... Auch andere Kapitel, be-
sonders aus ... rfahren, unter beträchtlicher
Vermehrung ...

Die ... erial angepaſst und vielfach
ergänzt. V ... Magnetisierungskoeffizienten
verschiedene ...

Cornelius ... rungswissenschaft.
[XV ... n. *M.* 10.—

Föppl, Dr. A., Ingenieur, Professor an der Kgl. Technischen Hochschule zu München, früher Oberlehrer a. d. städt. Gewerbeschule zu Leipzig, Einführung in die Maxwell'sche Theorie der Elektricität. Mit einem einleitenden Abschnitte über das Rechnen mit Vectorgrössen in der Physik. Mit Figuren im Texte. [XVI u. 413 S.] gr. 8. 1894. geh. n. *M.* 10.—

——— die Geometrie der Wirbelfelder. In Anlehnung an das Buch des Verfassers über die Maxwell'sche Theorie der Elektricität und zu dessen Ergänzung. [X u. 108 S.] gr. 8. 1897. geh. n. *M.* 3.60.

——— Vorlesungen über technische Mechanik. In 4 Bänden. III. Band: Festigkeitslehre. Mit 70 Figuren im Text. [XVI u. 472 S.] gr. 8. In Leinw. geb. n. *M.* 12.—

Holzmüller, Dr. **Gustav**, Direktor der Kgl. Gewerbeschule zu Hagen, die Ingenieur-Mathematik in elementarer Behandlung. Zweiter Teil, enthaltend das Potential und seine Anwendung auf die Theorien der Gravitation, des Magnetismus, der Elektricität, der Wärme und der Hydrodynamik. Mit 237 Figuren, zahlreichen Übungsbeispielen und einem Anhange über Maſseinheiten. [XVII u. 440 S.] gr. 8. 1898. In Leinw. geb. n. *M.* 6.—

Digitized by Google

Januschke, Hans, k. k. Direktor der Staats-Oberrealschule in Teschen, das Prinzip der Erhaltung der Energie und seine Anwendung in der Naturlehre. Ein Hilfsbuch für den höheren Unterricht. Mit 95 Figuren im Text. [X u. 456 S.] gr. 8. 1897. In Leinwand gebunden n. ℳ 12.—

Kirchhoff, Dr. Gustav, weil. Professor der Physik an der Universität zu Berlin, Vorlesungen über mathematische Physik. 4 Bände. Mit Figuren im Text. gr. 8. geh. n. ℳ 39.—

Einzeln:

I. Band. Mechanik. 4. Auflage, von Prof. Dr. W. Wien, Docent an der technischen Hochschule in Aachen. [X u. 464 S.] 1897. n. ℳ 13.—

II. — Optik. Herausgegeben von Dr. Kurt Hensel, Privatdocent der Mathematik an der Universität zu Berlin. Mit dem Bildnisse Kirchhoff's. [VIII u. 272 S.] 1891. n. ℳ 10.—

III. — Theorie der Electricität und des Magnetismus. Herausgegeben von Dr. Max Planck, Professor der theoretischen Physik an der Universität zu Berlin. [X u. 228 S.] 1891. n. ℳ 8.—

IV. — Theorie der Wärme. Herausgegeben von Dr. Max Planck, Professor der theoretischen Physik an der Universität zu Berlin. [X u. 210 S.] 1894. n. ℳ 8.—

Koenigsberger, Dr. Leo, ord. Prof. an der Universität zu Heidelberg, Hermann von Helmholtz's Untersuchungen über die Grundlagen der Mathematik und Mechanik. Mit einem Bildnis Hermann von Helmholtz's nach einer Ölskizze von Franz von Lenbach vom 30. April 1894. [V u. 58 S.] gr. 8. 1896. geh. n. ℳ 2.40.

Neumann, Dr. Carl, ord. Professor der Mathematik an der Universität zu Leipzig, die elektrischen Kräfte. Darlegung und Erweiterung der von A. Ampère, F. Neumann, W. Weber, G. Kirchhoff entwickelten mathematischen Theorieen. 2 Theile. gr. 8. geh. n. ℳ 21.20.

Einzeln:

I. Theil. Die durch die Arbeiten von A. Ampère und F. Neumann angebahnte Richtung. [XV u. 272 S.] 1873. n. ℳ 7.20.

II. — Ueber die von Hermann v. Helmholtz in seinen älteren und in seinen neueren Arbeiten angestellten Untersuchungen. [XXXVIII u. 462 S.] 1898. n. ℳ 14.—

——— allgemeine Untersuchungen über das Newtonsche Princip der Fernwirkungen mit besonderer Rücksicht auf die elektrischen Wirkungen. [XXI u. 292 S.] gr. 8. 1896. geh. n. ℳ 10.—

——— Beiträge zu einzelnen Theilen der mathematischen Physik, insbesondere zur Elektrodynamik und Hydrodynamik, Elektrostatik und magnetischen Induction. Mit Figuren im Text. [IX u. 314 S.] gr. 8. 1893. geh. n. ℳ 10.—

——— die Haupt- und Brenn-Punkte eines Linsen-Systemes. Elementare Darstellung der durch Gauss, Möbius und Bessel begründeten Theorie. Mit Figuren im Text. Zweite Auflage. [VIII u. 42 S.] gr. 8. 1893. geh. n. ℳ 1.20.

Digitized by Google

Neumann, Dr. **Carl**, ord. Professor der Mathematik an der Universität zu Leipzig, einige Notizen hinsichtlich der in neuerer Zeit gegen die Gesetze von Ampère und Weber erhobenen Einwände. Separat-Abdruck aus dem XI. Bande der Mathematischen Annalen. [S. 309—340.] gr. 8. 1877. geh. n. *M.* 1.20.

Planck, Dr. **Max**, Professor an der Universität zu Kiel, das Princip der Erhaltung der Energie. Von der philosophischen Facultät Göttingen preisgekrönt. [XIII u. 247 S.] gr. 8. 1887. geh. n. *M.* 6.—

Plücker, **Julius**, gesammelte physikalische Abhandlungen, herausgegeben von Fr. Pockels. Mit 78 in den Text gedruckten Figuren und 9 lithogr. Tafeln. [XVIII u. 834 S.] gr. 8. 1896. geh. n. *M.* 30.—

Steinheil, Dr. **Adolph**, Inhaber der Firma C. A. Steinheil Söhne und Mitglied der Akademie der Wissenschaften in München, und Dr. **Ernst Voit**, Professor an der technischen Hochschule zu München, Handbuch der angewandten Optik. 3 Bände. I. Band. Voraussetzung für die Berechnung optischer Systeme und Anwendung auf einfache und achromatische Linsen. Mit in den Text gedruckten Figuren und 7 lithographierten Tafeln. [VI u. 314 S.] gr. 8. 1891. geh. n. *M.* 12.—

Tumlirz, Dr. O., Professor an der Universität in Czernowitz, die electromagnetische Theorie des Lichtes. [VIII u. 158 S. mit in den Text gedruckten Figuren.] gr. 8. 1883. geh. n. *M.* 3.60.

Volkmann, **P.**, Professor der theoretischen Physik an der Universität Königsberg i/Pr., Vorlesungen über die Theorie des Lichtes. Unter Rücksicht auf die elastische und die elektromagnetische Anschauung. Mit in den Text gedruckten Figuren. [XVI u. 432 S.] gr. 8. 1891. geh. n. *M.* 11.20.

——— erkenntnistheoretische Grundzüge der Naturwissenschaften und ihre Beziehungen zum Geistesleben der Gegenwart. Allgemein wissenschaftliche Vorträge. [XII u. 181 S.] gr. 8. 1896. geh. n. *M.* 6.—

Wüllner, Dr. **Adolph**, Geheimer Regierungsrath und Professor der Experimentalphysik an der Königlichen Technischen Hochschule zu Aachen, Lehrbuch der Experimentalphysik. In 4 Bänden. Fünfte, vielfach umgearbeitete und verbesserte Auflage. I. Band. Allgemeine Physik und Akustik. Mit 321 in den Text gedruckten Abbildungen und Figuren. [X u. 1000 S.] gr. 8. 1895. geh. n. *M.* 12.—

——— ——— II. Band. Die Lehre von der Wärme. Mit 131 in den Text gedruckten Abbildungen und Figuren. [XI u. 936 S.] gr. 8. 1896. geh. n. *M.* 12.—

——— ——— III. Band. Die Lehre vom Magnetismus und von der Elektricität mit einer Einleitung: Grundzüge der Lehre vom Potential. Mit 341 in den Text gedruckten Abbildungen u. Figuren. [XV u. 1415 S.] gr. 8. 1897. geh. n. *M.* 18.—

Digitized by Google

DAS LEITVERMÖGEN

DER

ELEKTROLYTE

INSBESONDERE DER LÖSUNGEN

METHODEN, RESULTATE

UND CHEMISCHE ANWENDUNGEN

VON

Dr. F. KOHLRAUSCH

PRÄSIDENT DER PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN REICHSANSTALT

UND

Dr. L. HOLBORN

MITGLIED DER PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN REICHSANSTALT

MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN FIGUREN UND EINER TAFEL

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

LEIPZIG

DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER

1898

Digitized by Google

QD565
K6
BIOLOGY
LIBRARY

ALLE RECHTE, EINSCHLIESSLICH DES ÜBERSETZUNGSRECHTS, VORBEHALTEN.

Digitized by Google

Nur die reine Wissenschaft hat sich bisher mit dem elektrolytischen Leitvermögen beschäftigt und manchen Nutzen davon gezogen. Die angewandte Chemie, von der Analyse im Laboratorium bis zu den Betrieben chemischer Fabriken hat von dieser Gröfse nur geringen Gebrauch gemacht.

Aus dem Wunsche, auch technischen Zwecken das Leitvermögen zugänglich und dienstbar zu machen, ist der Gedanke, ein besonderes kleines Buch über den Gegenstand zu schreiben ursprünglich entstanden. Denn dafs der Keim eines mannichfachen Nutzens für viele technische Betriebe in jener Gröfse steckt, ist nicht zu bezweifeln. Es sind aber nur die technisch Sachverständigen, welche solche Vorteile wirklich entwickeln können, und damit die Anwendung so sich einbürgert mufs also der Technik die Bestimmungsmethode bekannt sein. Durch allerlei Umstände ist dies aber bisher verhindert worden. Man liest und hört, dafs die Messung eines elektrolytischen Leitvermögens Schwierigkeiten unterliege und dafs die Resultate unzuverlässig ausfallen. Nun mag diese Messung bezüglich der Leichtigkeit und Genauigkeit der Ausführung wohl ungünstiger dastehen als z. B. eine Wägung. Aber dafs eine besondere Schwierigkeit oder Ungenauigkeit bestehe ist doch nur ein durch allerlei, auch in der Literatur hervorgetretene Irrtümer und durch den Mangel an Erfahrung grofsgezogenes Vorurteil, dem durch dieses Kompendium gesteuert werden soll.

Der Inhalt des Buches wird in der Einleitung dargelegt. Wir wollen nur noch zwei Punkte erwähnen.

Es waren so viele Literaturhinweise geboten, dafs sie den Text entstellt haben würden. Deswegen wird nach bekanntem Vorgange nur durch Nummern neben dem Namen des Autors auf ein angehängtes Verzeichnis hingewiesen. Da nun für die Zwecke des Buches eine gröfsere Zusammenstellung der

Digitized by Google

Literatur gemacht worden war, so glaubten wir die Mühe nicht scheuen zu sollen, das Verzeichnis auch durch solche Arbeiten aus unserem Gebiete, auf die nicht hingewiesen werden mufste, thunlichst zu vervollständigen und ferner die Citate mit Stichwörtern zu versehen, die den Gegenstand des Aufsatzes andeuten. Es wurden hierbei die Aufsätze nicht berücksichtigt, welche einen Gegenstand aus der Theorie der Lösungen mit nur indirektem Anschlufs an das Leitvermögen enthalten. Indessen mögen uns auch unabsichtlich andere Arbeiten entgangen sein.

Die zweite Bemerkung betrifft die Bezeichnung der oft vorkommenden Gröfsenarten. Es war geradezu schwierig, passende Buchstaben hierfür zu finden, da man Verwirrungen vermeiden wollte, die wegen der abgeänderten Einheiten aus der Anwendung der bisher gebräuchlichen Zeichen (wie a, b, k, m, u, v, α, β, λ, μ) entstehen könnten. Diese Absicht haben wir aber durchgeführt.

Für Mitteilungen über Lücken oder Irrtümer werden wir den Fachgenossen dankbar sein, wie wir schon jetzt Herrn Diesselhorst für die Verbesserung mehrerer Stellen im Manuskript verpflichtet sind.

Charlottenburg, August 1898.

Digitized by Google

Inhalt.

Seite

Einleitung. IX

Übersicht.

1. Definition des Leitvermögens 1
2. Das Ohm'sche Gesetz 2
   Absolute Einheiten 2
3. Bezeichnung von Gröfsen. Verhältnis zu früheren Bezeichnungen . 3
4. Übersicht über die Methoden der Widerstandsmessung von Elektrolyten 5
   Zur Geschichte der Widerstandsbestimmung mit dem Telephon 7

Instrumente und Methoden der Widerstandsmessung.

5. Widerstandsgefäfse. Allgemeines 9
   Platiniren von Elektroden 9
   Gröfse der Elektroden 10
   Blanke Elektroden 10
   Anschweifsen, Anlöten, Anschmelzen von Platin 11
   Widerstandskapacität eines Gefäfses 12
6. Gestalten von Widerstandsgefäfsen 12
   I. Für schlecht leitende Flüssigkeiten 13
   II. Für besser leitende Flüssigkeiten 16
   III. Tauchelektroden 18
   IV. Gefäfse mit veränderlicher Kapacität (U-Gefäfse) 19
7. Rheostatenwiderstände 21
   Vereinfachter Rheostat 22
8. Zuleitwiderstände 23

Wechselstrom-Methoden.

9. Erreger der Wechselströme 25
   I. Induktor mit rotirendem Magnet. Sinusinduktor 25
   II. Induktorium mit festem Elektromagnet. Neeff'scher Hammer 26
   III. Differentialinduktor 28
   IV. Saitenunterbrecher 29
   V. Funkenentladung mit sehr schnellen Schwingungen 29

Digitized by Google

Seite
10. Beobachtungsmittel für Wechselströme 30
I. Elektrodynamometer 30
II. Hörtelephon 31
III. Optisches Telephon und Vibrationsgalvanometer 32
11. Schaltungen bei der Widerstandsbestimmung und Messung . . . 34
I. Wheatstone'sche Brücke. Allgemeines 34
II. Brücke mit gleichen Widerstandspaaren 35
III. Brücke mit Flüssigkeits-Rheostaten 37
IV. Schleifkontakt. Wheatstone-Kirchhoff'sche Brücke 38
V. Genauigkeit der Brücke und Vorschaltung von Widerständen vor den Brückendraht 43
VI. Kalibrirung eines Brückendrahtes; mit Drahtstücken; mit einem Rheostaten 45
Korrektionstabelle 49
VII. Verminderung der Fehler eines Brückendrahtes 50
VIII. Kontrole des Brückendrahtes 50
IX. Differentialinduktor 52
Universal-Induktor mit Rheostat 52
12. Fehlerquellen bei der Messung mit Wechselströmen 54
I. Stromwärme 54
II. Polarisation, Selbstinduktion und Kapacität 55
III. Verbesserung durch einen Kondensator 59
IV. Hindernisse bei sehr grofsen Widerständen 60
V. Theoretisches über die Fehlerquellen 61
1) Selbstinduktion 62
2) Polarisation 65
3) Kapacität 68
13. Widerstandsbestimmung mit Gleichstrom 71
I. Durch Differenzbeobachtungen 71
II. Mit verschwindender Polarisation 71
III. Sehr grofse Widerstände 72
14. Elektrometrische Methode 74
15. Bestimmung der Widerstandskapacität C von Gefäfsen 75
I. Normalflüssigkeiten von bekanntem Leitvermögen. H_2SO_4; $MgSO_4$; NaCl; KCl $^1/_1$, $^1/_{10}$, $^1/_{50}$, $^1/_{100}$ normal; Gyps . . . 75
II. Bestimmung von C mit einer Normalflüssigkeit 78
III. Bestimmung von C mittels eines bekannten Gefäfses . . . 78
IV. Bestimmung von C durch Ausmessen 79
V. Widerstandskapacität eines U-Gefäfses 80

Lösungen.

16. Koncentration 84
I. Verschiedene Bezeichnungen. Umrechnungsformeln 84
II. Herstellung von Lösungen 86
III. Verdünnung von Lösungen 88

Digitized by Google

Seite

IV. Kalibrirung von Hohlgefäfsen 89
17. Untersuchung sehr verdünnter Lösungen 90
Einfluſs der Unreinheit des Wassers 91
18. Die elektrolytische Stromleitung 93
I. Jonen. Elektrochemisches Äquivalent. Wertigkeit . . . 93
II. Jonenreibung. Dissociation. Leitvermögen der Lösungen 94
Dissociationsformel für schwache Elektrolyte. Dissociationskonstante 96
19. Elektrolytische Beweglichkeit und Äquivalentleitvermögen . . . 100
Berechnung des Dissociationsgrades u. der Dissociationskonstante 102
Tabellen für die Beweglichkeiten in verdünnten Lösungen . . 104
Absolute Beweglichkeit der Jonen 105
20. Erfahrungsmäfsige Sätze über Leitvermögen und Jonen-Beweglichkeiten 107
Andere Lösungsmittel 108
Gemische. Anomalien 109
21. Tabellarische und graphische Darstellungen der Leitvermögen . 110
22. Wasser 111
I. Destillation 111
II. Ausfrieren 113
III. Verbesserung destillirten Wassers 113
IV. Aufbewahrung von Wasser. Löslichkeit des Glases . . . 113
V. Ganz reines Wasser 115

Temperatur.

23. Temperaturbäder 116
24. Temperatur und Leitvermögen 117
I. Temperaturkoefficient 118
II. Bestimmung des Temperaturkoefficienten 119
25. Beobachtung und Reduktion eines Leitvermögens 121

Chemische Anwendungen des Leitvermögens wässriger Lösungen.

26. Analyse stärkerer Lösungen 124
I. Einzelne Elektrolyte 124
II. Analyse von Gemischen zweier Elektrolyte 126
27. Analyse verdünnter Lösungen 129
I. Berechnung der Koncentration aus dem Leitvermögen . . 130
II. Durchschnittsrechnung für den Gehalt verdünnter Salzlösungen 131
28. Löslichkeit schwer löslicher Körper 132
I. Ausführung der Beobachtung 132
II. Berechnung der gelösten Menge 133
III. Löslichkeit in höherer Temperatur 135

Literaturverzeichnis. 137

Digitized by Google

Tabellen.

		Seite
Bemerkungen zu Tab. 1 bis 5		144
1. Tab.	Leitvermögen wässriger Lösungen bei 18°	145
	1a. Salze	145
	1b. Säuren	154
	1c. Basen	158
2. Tab.	Äquivalentleitvermögen unorganischer Körper bei 18°	159
3. Tab.	Äquivalentleitvermögen unorganischer Körper bei 25°	162
3a. Tab.	Molekulares Leitvermögen unorganischer Säuren und Basen bei 25°	167
4. Tab.	Äquivalentleitvermögen organischer Salze bei 25°	168
5. Tab.	Molekulares Leitvermögen organischer Säuren	176
6. Tab.	Molekulares Leitvermögen organischer Basen	194
7. Tab.	Temperatur-Koefficienten des Leitvermögens	195
8. Tab.	Jonen-Beweglichkeiten in verdünnten Lösungen von Elektrolyten	200
	8a. aus einwertigen Jonen oder aus einem zweiwertigen mit einem einwertigen Jon	200
	8b. aus zwei zweiwertigen Jonen in gegenseitiger Verbindung	200
9. Tab.	Überführungszahlen (Wanderungsverhältnisse)	201
10. Tab.	Für Volum-Ausmessungen mit Wasser oder Quecksilber	201
11. Tab.	Löslichkeit von Salzen in Wasser bei 18°	202
12. Tab.	Krystallwasser-Gehalt und Haltbarkeit von Salzen	203
13. Tab.	Leitvermögen von Normalflüssigkeiten für die Bestimmung der Widerstandskapacität eines Gefäßes	204
14. Tab.	Atomgewichte	205
15. Tab.	Äquivalentgewichte und elektrochemische Äquivalente ein- oder zweiwertiger Jonen	205
16. Tab.	Obach'sche Tafel zur Wheatstone-Kirchhoff'schen Brücke $\frac{a}{1000-a}$	206
17. Tab.	Logarithmen	208
18. Tab.	Logarithmische Tafel nach Obach zur Brücke $\log \frac{a}{1000-a}$	210

S. 4, Z. 8 v. u. und S. 110, Z. 13 lies Tab. 2 bis 6 statt Tab. 2 bis 7.
S. 103, Z. 12 lies Tab. 5 u. 6 statt Tab. 4 u. 5.
S. 118, Z. 13 lies Tab. 1 u. 7 statt Tab. 1 u. 6.
S. 124, Z. 9 lies Tabb. 1 bis 6 statt Tabb. 1 bis 5.

Digitized by Google

Einleitung.

Das Buch stellt sich zunächst die Aufgabe, die Methoden und Instrumente der Messung von Leitvermögen eingehend zu behandeln, sowohl zum Zwecke genauerer Bestimmung wie für die weit häufigeren Gelegenheiten, bei denen ein halbes oder auch ein ganzes Procent Unsicherheit nicht schadet. Besondere Aufmerksamkeit wird der bequemen Aichung der Widerstandsgefäfse geschenkt, wobei auch die neueren Formen berücksichtigt werden, die sich für technische Anwendungen besonders gut eignen, weil sie, ähnlich wie die Mohr'sche Wage bei dem specifischen Gewicht, die Rechnung ersparen. Der letztere Punkt ist bei der ausgedehnten Anwendung einer Messung nicht zu unterschätzen. Auch eine Längenmessung oder eine Wägung würden als verwickelte Operationen erscheinen, wenn sie mit einem Storchschnabel oder mit einem Hebel von einem beliebigen Verhältnis der Armlängen auszuführen wären, obwohl ja nur noch eine Multiplikation des beobachteten Resultates mit einem Faktor gefordert werden würde. Das specifische Gewicht ist erst durch die Mohr'sche Wage zu einer, wenigstens nicht mehr ganz unpopulären Gröfse geworden.

Wer sich die Mühe nimmt, die, zu einer jeden Arbeit notwendige Übung sich auch in der Bestimmung von Leitfähigkeiten zu erwerben, wird finden, dafs eine solche Messung mit geeigneten Mitteln durchaus keine Kunst ist. Ja sie ist der Wägung und anderen Messungen in mehrfachem Sinne überlegen, eine Eigenschaft, die sie mit manchen anderen elektrischen

Digitized by Google

Methoden teilt; die Messung geschieht rascher und das Gebiet, welches man mit einfachen Mitteln beherrscht, ist viel weiter ausgedehnt. Mit wenig veränderten Mitteln kann man Leitvermögen umfassen, deren Gröfsen im Verhältnis Eins zu einer Million verschieden sind.

Eine gröfsere Unbequemlichkeit, wenn die Resultate genau sein sollen, entspringt eigentlich nur aus der stets notwendigen Temperaturbestimmung. Auf diese Seite mufste das Buch also in genügendem Mafse eingehen.

Im Anschlusse an die Bestimmung elektrolytischer Leitvermögen ergibt sich von selbst die Veranlassung, auch Gegenstände zu behandeln, die für jede Widerstandsmessung eine Bedeutung haben. Die Wheatstone-Kirchhoff'sche Brücke wird zum Zwecke ihres bequemen oder genauen Gebrauches eingehender besprochen; im Anhange befinden sich die von Obach zuerst eingeführten Tabellen in einer für manche Zwecke ausreichenden abgekürzten Form.

Als einen naheliegenden Punkt haben wir auch die Fehlerquellen bei der Messung mit Wechselströmen erörtern zu sollen geglaubt. Wenn diese Fehler auch überschätzt worden sein mögen, so soll man sie doch im Auge behalten und ihren nachteiligen Einfluſs auf die Leichtigkeit oder die Genauigkeit der Messung vermindern. Die kurze, auf einen einfachen Fall bezogene Theorie der Wirkung von Polarisation, Selbstinduktion und Kapacität auf Wechselströme wird Manchem erwünscht sein, da es an einer leicht zugänglichen, die verschiedenen Einflüsse umfassenden Literatur fehlt.

Die unmittelbare Anregung zur Abfassung des Kompendiums entstand durch die in der Reichsanstalt ausgeführte Herstellung „neuer Grundlagen für die Werte der Leitvermögen von Elektrolyten“[1]). In Übereinstimmung mit den Anschauungen, welche die Elektrochemische Gesellschaft in ihrer vorjährigen Versammlung vertreten hat, wurde nämlich bei diesen „Grundlagen“ als Einheit des Leitvermögens nicht wie bisher dasjenige des Quecksilbers gewählt, sondern es wurde, ent-

1) Kohlrausch, Holborn und Diesselhorst, Wied. Ann. **64**, 417. 1898.

Digitized by Google

sprechend dem jetzt allgemeinen Gebrauche auf den übrigen Gebieten der Elektricität, das Leitvermögen eines Körpers als Einheit angesehen, der in einer Säule von 1 cm Länge und 1 cm^2 Querschnitt den Widerstand 1 Ohm besitzt[1]). Früher oder später mufste dieser Schritt auf jeden Fall geschehen.

Seine Folgen bestehen, weil die Einheit des Leitvermögens nun etwa 10000 mal kleiner wird, darin, dafs die Zahlen, welche früher vom destillirten Wasser bis zu den bestleitenden Lösungen etwa 10^{-10} bis 10^{-4} betrugen, künftig von der Ordnung 10^{-6} bis 1 erscheinen. Auch künftig wird man manche Leitvermögen wohl mit einer Potenz von 10 multiplicirt angeben, es genügt aber der Faktor 10^6; mit anderen Worten, man bezieht in einem solchen Falle das Leitvermögen auf „Megohm" anstatt auf das einfache Ohm.

Eine zweite zweckmäfsige Änderung der für elektrolytische Gröfsen festgehaltenen Grundlagen, die sich in der elektrochemischen Technik wohl schon zum Teil eingebürgert hat, betrifft die Berechnung der Koncentration einer Lösung. Dafs man die gelösten Mengen nicht nach ihrer Masse rechnet, sondern nach elektrochemischen Molekülen, ist freilich nicht mehr als eine Neuerung zu bezeichnen, denn gerade in der Chemie und der Elektrochemie ist der Vorteil längst beachtet worden, dafs alsdann gleichzahlige Koncentrationen chemisch und elektrochemisch gleichwertig werden. Diese bereits heimisch gewordene Definition einer Koncentration kommt ja lediglich auf den Begriff der in der Analyse gebräuchlichen „Normalkoncentration" hinaus. Es ist aber ferner für alle elektrochemischen Betrachtungen bequem, wenn man als Volumeinheit nicht das

---

1) Ihrer Ableitung entsprechend ist diese Einheit als $1/(\text{Ohm} \cdot \text{cm})$ oder $\text{Ohm}^{-1}\,\text{cm}^{-1}$ zu bezeichnen. Erwünscht wäre vielleicht eine kurze Benennung, indessen würde dieses Bedürfnis ebenso für eine weitere Anzahl von Einheiten bestehen; denn umständlicher noch stellt sich die Einheit der Koncentration einer Lösung als gr-Äqu./ccm, oder die Verdünnung als ccm/gr-Äqu. dar, sowie endlich das Leitvermögen des Grammäquivalents, welches als $cm^2/(\text{Ohm} \cdot \text{gr-Äqu.})$ auftritt. Gewöhnt man sich aber daran, diese Einheiten immer anzuwenden, so kann man, wie bei dem specifischen Gewicht, neue Namen sparen, die doch auch eine Belastung des Gedächtnisses bilden würden.

Digitized by Google

sonst gebräuchliche Liter nimmt, sondern das Kubikcentimeter, wodurch Reduktionsfaktoren in den Formeln für die Stromleitung erspart werden. Die Koncentrationen verdünnter Lösungen werden hierdurch freilich zumeist recht kleine Zahlen mit so vielen Nullen hinter dem Komma, dafs man einen Faktor hinzusetzen wird; (in dem Buche ist dann gewöhnlich 1000 gewählt, wodurch also das mg-Äquivalent im ccm oder auch die alte Zählung nach gr-Äquiv./Liter entsteht). Der Nachteil wird aber durch einen gröfseren Vorteil aufgewogen, denn nun tritt die Gröfse, welche man doch die wichtigste und zugleich, weil sie trotz den zahllosen Einzelfällen dem Gedächtnis einzuverleiben ist, die übersichtlichste auf dem ganzen Gebiet nennen mufs, nämlich das Äquivalentleitvermögen des gelösten Körpers, ohne weiteres mit den bequemsten Zahlenwerten auf. Die theoretischen Elektrochemiker genieſsen zufällig dabei den Vorteil, dafs diese Zahlen der früher häufig mit μ bezeichneten Gröfse nahe liegen.

Vollkommene Einigung besteht wohl noch nicht in einem anderen hier in Frage kommenden Punkte, nämlich in der Wahl zwischen dem gr-Äquivalent oder dem gr-Molekül der chemischen Formel. Wir führen das Äquivalent durch, wenigstens bei den Elektrolyten, die nur ein- oder zweiwertige Bestandteile haben. Dies sind bis jetzt im Groſsen die einzigen Körper, deren elektrolytisches Verhalten sicher bekannt ist. Es besteht nun für die hierher gehörigen Metallsalze die Übersichtlichkeit, dafs sie in verdünnter Lösung ein nicht sehr verschiedenes Äquivalentleitvermögen besitzen, d. h. dafs Lösungen von gleichem Äquivalentgehalt in der Volumeinheit ein Leitvermögen von gleicher Ordnung haben. Diese Übersichtlichkeit würde wegfallen, wenn man an Stelle der Äquivalenz die gelöste gleiche Molekülzahl einführen wollte, und es müfsten dann die Elektrolyte in viel mehr Gruppen eingeteilt werden. Oder man müfste die Leitvermögen zweiwertiger Elektrolyte, um die Übersichtlichkeit wieder herzustellen, ein für allemal durch 2 teilen, welche Mafsregel aber auf dasselbe hinauskommt, wie die konsequente Durchführung des Äquivalents statt des Moleküls. Diese letztere ist übrigens nichts anderes als die Gewohnheit der analytischen Chemie, als Normallösungen solche von einem ganzen Molekül Salzsäure oder Silbernitrat, dagegen

Digitized by Google

von einem halben Molekül Schwefelsäure oder Chlorbarium zu bezeichnen.

Damit nun die Definition des Leitvermögens aus dem Ohm sich rasch einbürgern und damit die Rechnung nach Grammäquivalenten im Kubikcentimeter leicht weiter verwendet werden kann, ist es nötig, die bisher veröffentlichten Koncentrationen und Tausende von Leitvermögen der Lösungen einheitlich in diesen Maſsen vor sich zu haben.

Es ist auch gewiſs ein Vorteil, wenn man die Resultate bis zur Neuzeit überhaupt wieder einmal zusammenstellt. Bei der Umrechnung vom Quecksilber auf das Ohm ist einige Kritik anzuwenden. Denn die wirklich gebrauchten alten Einheiten stehen nicht in genauer Übereinstimmung mit ihrer Definition. Die Folge hiervon ist, daſs der theoretische Umrechnungsfaktor (10630) nicht überall angewandt werden darf; die früher für die elektrischen Gröſsen wie für die Temperatur angenommenen Grundlagen bewirken vielmehr durchschnittlich einen etwas gröſseren Faktor (10690 etwa), der aber für die einzelnen Gruppen um etwa $\pm \frac{1}{2}\%$ schwankt. Wie wir die Umrechnungsfaktoren zu ermitteln versucht haben, ist in der erwähnten Abhandlung dargelegt.

In dem Anhange des Buches wird nun das ganze bis jetzt veröffentlichte Material von Beobachtungen an wässrigen Lösungen, soweit es umrechnungsfähig ist, der Absicht nach vollständig, und in der Ausführung gewiſs nahe vollständig und wie wir hoffen korrekt, in den einheitlichen Maſsen dargestellt. Die Einteilung geschieht nach den durch die Temperatur und die Beobachter gebildeten Gruppen, mit denen einige weitere Gesichtspunkte der Anordnung meistens zusammenfallen.

Bemerkt möge noch werden, daſs Beobachtungen, die offenbar Fehler enthalten, häufig durch einen ausgeglichenen Wert ersetzt worden sind.

Das Buch beabsichtigt ferner, mittels einer Zusammenstellung der Formeln und einiger Tabellen chemischen Inhaltes für unorganische Elektrolyte, bei denen wir die freundliche Mitwirkung des Herrn Mylius mit Dank zu verzeichnen haben, die Technik der Herstellung von Lösungen zu er-

Digitized by Google

leichtern. In dieser Richtung könnte freilich mit Nutzen viel mehr geschehen; sollte ein erfahrener Chemiker sich einmal die Mühe geben, den Gegenstand auch von der analytischen Seite eingehender zu behandeln als das von uns geschehen konnte, so wird er sicher Vielen einen grofsen Dienst erweisen.

Auf das Leitvermögen übt die Temperatur einen grofsen Einfluſs aus, daher müssen Beobachtungen, um vergleichbar zu sein, auf eine bestimmte Temperatur zurückgeführt werden. Diese Aufgabe sowie die Ermittelung von „Temperaturkoefficienten“ wird in den §§ 23 bis 25 ausführlich erörtert. Alle bisherigen Beobachtungen über diesen Gegenstand, aus denen die Beobachter die Temperaturkoefficienten berechnet haben, finden sich in den Tabellen.

Leitvermögen von Lösungen werden nun zu zwei ganz verschiedenen Zwecken beobachtet. Sie gewähren einesteils einen Aufschluſs über die Eigenschaften der Jonen und die Beschaffenheit der Lösung. Bei schlechten („schwach dissociirten“) Leitern läſst das Ostwald'sche Verdünnungsgesetz, dessen Ableitung und Bedeutung in § 18 kurz entwickelt wird, den Dissociationsgrad einer verdünnten Lösung und die Dissociationskonstante des gelösten Körpers ermitteln. Das Leitvermögen kann umgekehrt aus der Dissociation und den Jonen-Beweglichkeiten in unendlicher Verdünnung berechnet werden.

Für gute (stark dissociirte) Leiter, bei denen das obige Verdünnungsgesetz nicht stimmt, ist die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Dissociation und Leitvermögen eine offene und es gibt noch keine Theorie solcher Lösungen. Die gefundenen Leitvermögen werden aber auch hier aus dem Gebiet bloſser empirischen Geltung herausgehoben durch ihre Zerlegung in die Leitvermögen oder „Beweglichkeiten“ ihrer beiden Bestandteile. Für diese gilt der Satz: in verdünnter Lösung, wo die Flüssigkeit, durch welche die Jonen von den elektrischen Kräften hindurchgetrieben werden, wesentlich das Lösungsmittel ist, kommt einem jeden Jon eine bestimmte Beweglichkeit zu, die unabhängig ist von dem anderen Jon, mit welchem das erstere den Elektrolyt bildet. Wird diese Beweg-

Digitized by Google

lichkeit in richtiger Weise definirt, so gibt ihre Summe das „Aquivalentleitvermögen", d. h. sie liefert mit der Koncentration multiplicirt, das Leitvermögen der Lösung. Man sieht, daſs man alles kennt, wenn diese Jonenbeweglichkeiten bekannt sind, und in der That bieten diese Gröſsen auch da, wo das Leitvermögen sich der Theorie noch unzugänglich gezeigt hat, eine sehr fruchtbare Handhabe, um aus den rein erfahrungsmäſsigen Thatsachen Beziehungen von allgemeiner Geltung abzuleiten.

Dies gilt auch von dem anderen, dem praktischen Teile, nämlich der Anwendung des Leitvermögens, auf die chemische Analyse. Das Buch geht in dieser Richtung erheblich weiter als bisher geschehen ist. Es wird nämlich der Versuch gemacht, die Beweglichkeit als eine Eigenschaft des einzelnen Jons, die also von anderen Jonen unabhängig als eine Funktion der Koncentration auftritt, nicht nur für den Grenzfall äuſserster Verdünnung aufzustellen, sondern bis zu $^1/_{20}$ oder auch $^1/_{10}$ normaler Koncentration. Streng ist dies allerdings nicht möglich, aber doch mit einer Annäherung, die, besonders auch durch die einfache Form, in welcher das Resultat auftritt, eine höchst beachtenswerte Thatsache enthält und die mindestens praktisch von erheblichem Nutzen sein kann.

Auf die Art, wie die diesbezüglichen Tabellen entstanden sind, soll an einem anderen Orte eingegangen werden. Vielleicht würden etwas geänderte Voraussetzungen die Resultate noch verbessern, doch läſst sich dies kaum entscheiden, ehe manche Unsicherheiten und Lücken des bisher vorliegenden Beobachtungsstoffes beseitigt sein werden.

Zu dem letzteren sind auch die mit dem Gegenstande nahe zusammenhängenden Hittorf'schen Überführungszahlen der Jonen zu rechnen. Man findet für sie eine Tabelle, die aus den bekannten Beobachtungen zusammen mit einer Anzahl von unveröffentlichten Resultaten, welche Herr Bein freundlichst zur Verfügung stellte, unter Ausgleichung der Differenzen abgeleitet worden ist. Willkürlichkeiten lieſsen sich aber bei den Ausgleichungen nicht vermeiden und diese Zahlen seien daher besonders für viele verdünnte Lösungen mit allem Vorbehalt gegeben.

Digitized by Google

Die letzten Paragraphen des Buches sind Beispielen der Anwendung des Leitvermögens auf die chemische Analyse gewidmet, welche sich zum Teil auf die Jonen-Beweglichkeiten stützen. Diese Anwendungen liegen, wie bereits bemerkt wurde, noch in ihrer Kindheit. Sollte das Buch den Anstofs geben, dafs sie zu einer technischen Bedeutung gelangen, so hat es seinen Hauptzweck erfüllt.

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Übersicht.

1. Definition des Leitvermögens.

Als Einheit wird das Leitvermögen eines Körpers angenommen, von dem eine Säule von 1 cm Länge und 1 cm^2 Querschnitt den Widerstand 1 Ohm besitzt. Die bestleitenden wässrigen Säurelösungen haben bei etwa 40° ein solches Leitvermögen. Die in dieser Einheit ausgedrückten Leitvermögen sollen mit $\varkappa$ bezeichnet werden.

Bisher wurden elektrolytische Leitvermögen fast ohne Ausnahme auf Quecksilber von 0° als Einheit bezogen. Da ein cm-Würfel Hg bei 0° den Widerstand $^1/_{10630}$ Ohm hat, so ist diese Einheit also 10630mal gröfser, als die unsrige, und wenn k das auf Quecksilber bezogene Leitvermögen bedeutet, so ist

$$\varkappa = 10630 \cdot k.$$

Tabellen, welche die meisten bisher veröffentlichten Leitvermögen in die auf cm und Ohm bezogenen umrechnen, und zwar thunlichst mit Rücksicht auf die Abweichungen der einzelnen Verfasser von der richtigen Quecksilbereinheit, finden sich am Schlufs.

Die Temperaturen t sind dabei nach der Wasserstoffskale gemessen. Ein in sich richtiges Quecksilberthermometer zeigt bei Zimmertemperatur gegen das Wasserstoffthermometer um einige Hundertel Grad zu hoch. Näheres s. § 23.

Literatur-Hinweise im Text beziehen sich zunächst auf das Literaturverzeichnis im Anhange dieses Buches, wo die näheren Angaben über die citirten Abhandlungen, ev. mit Hilfe der Nummern gefunden werden, durch welche mehrere Aufsätze desselben Verfassers unterschieden sind.

Digitized by Google

2. Das Ohm'sche Gesetz.

Eine Säule von l cm Länge und f cm² Querschnitt hat den Widerstand

$$w = \frac{1}{\varkappa}\frac{l}{f} \text{ Ohm.}$$

Ist dieser Widerstand, der Querschnitt und die Länge gemessen, so berechnet sich also das Leitvermögen

$$\varkappa = \frac{l}{f}\frac{1}{w}.$$

Wirkt in einer solchen Säule die elektromotorische Kraft (die Spannungsdifferenz an den Enden) e Volt, so ist die Stromstärke i

$$i = \frac{e}{w} = \varkappa\frac{f}{l}e \text{ Ampere} \qquad \text{oder auch } \frac{i}{f} = \varkappa\frac{e}{l}\frac{\text{Am}}{\text{cm}^2}.$$

i/f heifst „Stromdichte", e/l ist das „Spannungs-" oder „Potential-Gefälle" oder die „elektrische Feldstärke" im Leiter.

Wie man die Einheit einer Fläche durch [cm²], die einer Geschwindigkeit durch [cm/sec] bezeichnet u. s. w., so hätte man die Einheit des Leitvermögens $\left[\frac{1}{\text{cm}\cdot\text{Ohm}}\right]$ oder $[\text{cm}^{-1}\ \text{Ohm}^{-1}]$ zu nennen. Denn die obige Gleichung heifst vollständig

$$\varkappa = \frac{l \text{ cm}}{f \text{ cm}^2}\cdot\frac{1}{w \text{ Ohm}} \quad \text{oder} = \frac{l}{f}\frac{1}{w}\cdot\frac{1}{\text{cm}\cdot\text{Ohm}}.$$

Die vielfach bezweifelte und von vornherein keineswegs zu behauptende Anwendbarkeit des Ohm'schen Gesetzes auf Elektrolyte hat sich stets bewährt. Sie ist einerseits für gute Leiter bis zu Spannungsgefällen von 1/Milliontel Volt/cm abwärts (Kohlr. u. Nippoldt 1869), andrerseits für das millionenfach schlechter leitende reine Wasser bis zu 100 Volt/cm aufwärts (K. u. Heydweiller 1. 1894) nachgewiesen worden. Für rasch wechselnde Ströme gelang im Laufe der Zeit der Nachweis zuerst bis zu etwa 100 Schwingungen/sec (K. u. Grotrian 1874), später bis zu vielen Tausenden (E. Cohn 1884) und in neuester Zeit sogar bis zu Millionen (Nernst 6. 1897; Erskine 1897).

Absolute Einheiten.

Für manche theoretische Betrachtungen ist es zweckmäfsig, die Gröfsen nach rein wissenschaftlichem Mafse zu messen.

Digitized by Google

In elektromagnetischen [C-G-S]-Einheiten stellt sich das Leitvermögen K, da 1 Ohm $= 10^9$[C-G-S] ist, in einer 10^9mal kleineren Zahl dar als $\varkappa$, also

$$K = 10^{-9} \cdot \varkappa.$$

Da 1 Volt $= 10^8$[C-G-S]-Spannungseinheiten und 1 Ampere $= 10^{-1}$[C-G-S]-Stromeinheiten ist, so gilt das Ohm'sche Gesetz für den Zusammenhang zwischen Stromstärke J, Spannung E und Widerstand W bez. Leitvermögen K, alle in C-G-S ausgedrückt, hier ebenso

$$J = \frac{E}{W} = K \frac{f}{l} E \text{ [C-G-S].}$$

Die elektrostatische [C-G-S]-Widerstandseinheit beträgt $90 \cdot 10^{10}$ Ohm. Das Leitvermögen in diesem System ist also $= 90 \cdot 10^{10} \varkappa$ zu setzen. Die Einheit der Stromstärke ist $= \frac{1}{30 \cdot 10^8}$ Am, die Einheit der Spannung $= 300$ Volt, sodafs das Ohm'sche Gesetz auch hier Anwendung findet.

3. Bezeichnungen oft gebrauchter Gröfsenarten und Verhältnis ihrer Einheiten zu den sonst üblichen Einheiten.

Die bisher angegebenen Leitvermögen beziehen sich wie gesagt meist auf Quecksilber, während wir die Gröfsen in 1/(Ohm · cm) ausdrücken wollen.

Damit ferner die Leitfähigkeiten und Koncentrationen der Lösungen und die Widerstände in eine möglichst einfache Beziehung zu einander kommen, soll als Volumeinheit nicht das bisher gebräuchliche Liter sondern das Kubikcentimeter genommen werden.

Die Buchstaben, durch welche die auf diese Einheiten bezogenen Gröfsenarten bezeichnet werden, wählen wir so, dafs eine Verwechslung mit den bisher gebräuchlichen Bezeichnungen möglichst ausgeschlossen sein soll. In der folgenden Nebeneinanderstellung werden die früheren Bezeichnungen in steiler Klammer aufgeführt und zugleich die Regeln gegeben, nach denen die verschiedenen Einheiten ineinander umzurechnen sind.

1) $\varkappa$, elektrisches Leitvermögen in 1/(cm · Ohm).

[k bezogen auf Quecksilber von 0^0. Theoretisch ist $\varkappa = 10630 \cdot k$. Bei den meisten bisherigen Bestimmungen ist in Wirklichkeit die Umrechnung mit einem um einige Promille gröfseren Faktor, meistens etwa 10690 auszuführen. Die Tabellen 1 u. 7 im Anhang enthalten bisherige Bestimmungen

Digitized by Google

in die Einheit 1/(Ohm · cm) umgerechnet.]

Über die für die einzelnen Fälle giltigen Umrechnungs-Faktoren vgl. Kohlr., Holborn u. Diesselhorst 1898.

2) η, Äquivalent-Koncentration einer Lösung, d. h. die Koncentration, gemessen nach Gramm-Äquivalenten des gelösten Körpers im Kubikcentimeter der Lösung.

[m oder c gemessen nach gr-Äqu./Liter. $m = 1000\eta$];

$\varphi = \frac{1}{\eta}$, Verdünnung in ccm/gr-Äqu.

[v in Liter/gr-Äqu. $\varphi = 1000v$].

Wenn mehrwertige Jonen vorkommen, so ist früher, z. B. bei Ostwald, für die Koncentration oder die Verdünnung auch wohl das Molekül anstatt des Äquivalents zu Grunde gelegt worden. Dann treten noch Faktoren oder Divisoren 2 oder auch 3 oder 4 herein.

Vgl. hierüber und über die Umrechnung anders definirter Koncentrationen (Procente etc.) § 16 I.

3) $\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$, Äquivalent-Leitvermögen.

[λ, μ oder k/m. Theoretisch ist $\Lambda = 10^7\lambda \cdot 1{,}063$ oder auch $= \mu \cdot 1{,}063$, da die Werte, welche von oder im Anschluſs an Ostwald mit μ bezeichnet werden, den Faktor 10^7 bereits enthalten. In Wirklichkeit kommt nach Umständen ein etwas gröſserer Faktor als 1,063, im Mittel etwa 1,069, d. h. die Zahlen μ sind um $^1/_{14}$ bis $^1/_{15}$ ihres Betrages zu vergröſsern, um unsere Λ zu ergeben. Auſserdem sind sie, wenn unter μ das molekulare Leitvermögen verstanden wurde, durch 2 (3 4) zu dividiren. Aus den Zahlen $10^8\, k/m$ bei Kohlrausch erhält man $\Lambda = 0{,}1069 \cdot 10^8\, k/m$.]

Die neuen Zahlenwerte für Λ siehe in Tab. 2 bis 5.

4) l_K, l_A, elektrolytische Beweglichkeiten des Kations oder Anions. Es ist $l_K + l_A = \Lambda$ und $\frac{l_A}{\Lambda}$ oder $\frac{l_A}{l_K + l_A} = \pi$ das Wanderungsverhältnis des Anions.

[u, v dieselben Gröſsen, wenn man $u + v = \lambda$ setzt. Also theoretisch $l_K = 10^7 \cdot u \cdot 1{,}063$ und $l_A = 10^7 \cdot v \cdot 1{,}063$;
die Zahlen $u \cdot 10^7$ oder $v \cdot 10^7$ bei Kohlr. sind mit 1,069 zu multipliciren. Werte für l_K und l_A siehe im Anhang Tab. 8a u. 8b.]

Digitized by Google

5) C, Widerstandskapacität eines Gefäfses in cm^{-1}.

[γ in m/mm^2. Theoretisch $C = 10000\,\gamma$. Wenn γ früher empirisch aus bekannten Flüssigkeiten ermittelt worden war, so ist meistens nahe zu setzen $C = 10050\,\gamma$.]

6) c, Temperaturkoefficient des Leitvermögens.

7) s, specifisches Gewicht der Flüssigkeit, immer auf Wasser von 4^0 bezogen.

8) P, Gewichts-Procentgehalt.

Es ist $\eta = \frac{1}{100}\frac{Ps}{A}$, wenn A das Äquivalentgewicht des gelösten Körpers. Vgl. auch § 16 I.

4. Übersicht über die Methoden der Widerstandsmessung von Elektrolyten.

Elektrolytische Widerstände versuchte man ursprünglich wie metallische zu bestimmen; die Resultate waren, auch abgesehen davon, dafs die Temperatur nicht genügend berücksichtigt wurde, durch die Fehler der Elektroden-Polarisation gröfstenteils ganz entstellt. Brauchbare Zahlen lieferte ein solches Verfahren nur bei Flüssigkeiten, die polarisationsschwache Elektroden gestatten, insbesondere Zinkvitriol (Beetz 1862); nur für sehr grofse Widerstände, bei denen andere Methoden Schwierigkeiten bieten, kommt man auf jenes Verfahren zurück. Wenn nämlich entsprechend grofse elektromotorische Kräfte gebraucht und die Ströme nur kurz geschlossen werden, so kann man die Polarisation vernachlässigen.

Die ersten brauchbaren Leitvermögen wurden dadurch erhalten, dafs man die Polarisation durch Differenzbestimmungen mit konstanter Stromstärke eliminirte (Horsford 1847; G. Wiedemann 1856; Schmidt 1859; Lenz 1876 u. A.). Ein noch wirksameres Mittel, diese Fehlerquelle zu beseitigen, lieferte die Stromzuleitung von grofsen Zinkelektroden und Zinkvitriollösung aus nach der zu untersuchenden Flüssigkeit in Heberröhren (Paalzow 1869). Einfacher wurde dann derselbe Vorteil durch Hervorbringen der Maximalpolarisation mittels Drahtelektroden von absichtlich kleiner Fläche erzielt (Tollinger 1877).

Elektroden lassen sich ganz vermeiden durch Anwendung

Digitized by Google

geschlossener Flüssigkeitsleitungen, in denen Induktionsströme erregt werden, z. B. durch einen nahe bei einer Flüssigkeitsmasse schwingenden Magnet. Diese Versuche blieben wegen der zu schwachen Wirkungen anfangs erfolglos (Beetz 1860). Später wurden die Wirkungen durch die Bewegung von Flüssigkeitsmassen gegen starke Elekromagnete so weit verstärkt, dafs die nahe Übereinstimmung der so erhaltenen Resultate mit den durch einfachere Methoden erhaltenen nachgewiesen werden konnte (Guthrie u. Boys 1880). Auf dieses theoretische Interesse ist bis jetzt die Methode beschränkt.

Durch elektrostatische Messung kann die Elektrodenpolarisation vermieden werden, wenn man durch eine Flüssigkeitssäule einen konstanten Strom schickt und die Spannung an zwei Querschnitten elektrometrisch mittels sekundärer Elektroden bestimmt; diese bekommen dann nur die Spur von Strom, welche zur Ladung des Elektrometers nötig ist. Das, allerdings umständliche Verfahren kann genaue Resultate liefern (Fuchs 1875; Bouty 1884—88; Sheldon 1888; Rasehorn 1889).

Bei weitem am bequemsten und am häufigsten gebraucht ist die Messung mit Wechselströmen von hinreichender Frequenz (Kohlr. u. Nippoldt 1869) und zwischen Elektroden, die durch einen Überzug von Platinmohr auf eine ausreichende Oberfläche gebracht werden (K. u. Grotrian 1874), sodafs die Polarisationswirkung des einzelnen Stofses nicht zur Geltung kommt. Ein besonders wirksames Verfahren für das Platiniren (Lummer u. Kurlbaum 1895) hat gestattet, die Elektroden auf eine sehr kleine Gröfse zu reduciren (Kohlr. 22. 1897).

Die Wechselströme werden erregt bis zu etwa 200 Stromwechseln/sec mittels eines in einem Multiplikator rotirenden Magnets [Sinusinduktor (K. 2a. 1874)], oder durch einen rotirenden Kommutator (Edlund, Arrhenius 1. 1884), oder mit dem Neeff'schen Hammer (K. 8. 1879). Zur Prüfung des Ohm'schen Gesetzes wurden mit einer Frequenz von vielen Tausenden/sec die Schwingungen benutzt, welche in einem ungeschlossenen Leitersystem mit Selbstinduktion und elektrostatischer Kapacität durch plötzliche Störungen entstehen (Cohn 1884). Neuerdings werden auch Schwingungen von Millionen/sec (Nernst 6. 1897) vorgeschlagen.

Digitized by Google

Zur Wahrnehmung der Ströme ist in dem Falle sehr grofser Wechselzahl das Elektrometer gebraucht worden (aber nach einem sehr subtilen, nicht für praktische Verwendung bestimmten Verfahren; Cohn l. c.) oder für die nach Millionen zählenden Schwingungen eine Hertz'sche mikrometrische Funkenstrecke (Nernst l. c.).

Für die gewöhnlichen langsameren Wechselströme kann das Weber'sche Elektrodynamometer mit fester und beweglicher Rolle in geeigneter Schaltung (Kohlr. 1. 1871) gebraucht werden oder ein hinreichend empfindliches Bellati'sches Dynamometer aus einem Multiplikator mit schräg gestellter Eisennadel (Vicentini 1. 1885). Bestehen die Wechselströme aus den plötzlichen Stöfsen des Unterbrechungsinduktors, so sind sie mit dem Telephon zu beobachten, entweder und zwar gewöhnlich mit dem Bell'schen Hörtelephon (K. 9. 1880; Long 1880) oder mit dem optischen Telephon (M. Wien 2. 1891) bez. mit dem diesem Instrument analogen Vibrationsgalvanometer (Rubens 1895).

Zur Geschichte der Anwendung des Telephons auf die Widerstandsbestimmung mit Wechselströmen.

Hierüber haben i. J. 1879 die folgenden Autoren Versuche gemacht (s. das Literaturverzeichnis). Wietlisbach, der auf Veranlassung von Helmholtz die Anwendung des Telephons zu Messungen versuchte, aber bei der Widerstandsbestimmung von Flüssigkeiten zu dem Resultate zu kommen glaubte, dafs die Zuschaltung einer Selbstinduktion (Spule mit veränderlicher Eisen-Einlage) notwendig sei, um diese Messung ausführen zu können. — L. Lorenz suchte mit dem Telephon die elektrodynamischen Konstanten eines Leiters zu bestimmen, konnte aber bei der Einschaltung eines Flüssigkeitswiderstandes „die Versuche in dieser Weise gar nicht ausführen", weil das Telephon nicht zum Schweigen zu bringen war. — Im Anschlufs hieran stellte Niemöller Versuche an; er fand, dafs bei der Vergleichung grofser Flüssigkeits- und Drahtwiderstände die Schwierigkeiten wegfallen; Resultate werden auch hier, aufser dafs geschmolzener Schwefel sich als Nichtleiter zeigte, nicht mitgeteilt. — Diese theoretischen und kritischen Arbeiten erkennen also die Bedeutung des Verfahrens nicht, sie stofsen auf Schwierigkeiten und machen überhaupt keine Anwendung der Telephonmethode auf elektrolytische Widerstandsmessung.

Im Gegensatz dazu und von den genannten Arbeiten unabhängig wurden bei Versuchen im Würzburger physikalischen Institut, wo der Neeff'sche Hammer bereits für Widerstandsmessungen gebraucht wurde,

Digitized by Google

ebenfalls i. J. 1879 die kleinen Schwierigkeiten durch passende Anordnung alsbald überwunden, und Long bestimmte sofort auf Veranlassung von F. Kohlrausch das Leitvermögen vieler Salzlösungen. Diese Arbeit ist zweifellos als die erste zu bezeichnen, in welcher die Telephonmethode angewandt und ihre Brauchbarkeit nachgewiesen wurde. Die dabei benutzten Instrumente waren genau diejenigen einfachen Apparate, die sich in jeder physikalischen Sammlung finden — kleiner Induktionsapparat mit Platinunterbrecher, Rheostat und gespannter Brückendraht mit Schleifkontakt —, welche bei einfacher Anordnung jetzt noch gebraucht werden. F. Kohlrausch beschrieb eine vollkommenere, auf seine Veranlassung durch E. Hartmann ausgeführte Zusammenstellung von Instrumenten — Quecksilberunterbrecher und Walzenbrücke.

Die Einführung der Wechselströme in die Widerstandsmessung hat lange Jahre und nachdem bereits zahlreiche Ergebnisse des Verfahrens mitgeteilt worden waren, von so vielen Seiten Widerspruch gefunden, dafs die Anführung der betreffenden Literatur zu viel Raum beanspruchen würde. Über die Widerlegung des einen Zweifels, ob das Ohm'sche Gesetz für die raschen Schwingungen giltig sei, vgl. S. 2. Ferner wurde behauptet, der Einflufs der Polarisation werde nicht beseitigt, oder auch, die Resultate würden durch Selbstinduktion und Kapacität entstellt. Die Widerlegung dieser Behauptungen bez. die experimentelle Feststellung der einfachen Mafsregeln, durch welche diese Bedenken beseitigt werden, siehe bei Kohlr. 8. 1879; 12. 1885; 16. 1893; Ostwald 2. 1885; Elsas 2. 1891.

Von Bedeutung für die Entwicklung des Verfahrens ist noch die Bemerkung, dafs bei der Beobachtung der durch Stromunterbrechung erzeugten Induktionsströme mit dem Hörtelephon nicht der Grundton, sondern dafs viel höhere Obertöne die Einstellung bestimmen (Lenard 1890). Gut definirte Widerstände wurden hier wie überall zuerst durch die Quecksilbereinheit gegeben (Siemens 1860). Die Anwendung gewöhnlicher Rheostaten wurde ermöglicht durch die, die Selbstinduktion beseitigende bifilare Wicklung der Rollen (Siemens 1860). Die hohen Widerstände, welche am hartnäckigsten Schwierigkeiten bereitet haben, sind durch die unifilar abwechselnde Wicklung brauchbar geworden (Chaperon 1. 1889).

Digitized by Google

Instrumente und Methoden der Widerstandsmessung in Elektrolyten.

5. Widerstandsgefäfse; Allgemeines.

Platiniren von Elektroden.

Dasselbe geschieht, indem man das gut mit Salpetersäure und Alkohol oder Natronlauge und Wasser gereinigte und nachher nicht wieder mit dem Finger berührte Blech als Kathode in eine verdünnte Lösung von „Platinchlorid" (Wasserstoff-Platinchlorid, H_2PtCl_6) bringt. Die oft eintretende Schwierigkeit, den Niederschlag in der verlangten schwammigen Form zu erhalten, wird vermieden, wenn man eine etwa 3procentige wässrige Lösung des käuflichen Platinchlorids mit Zusatz von etwa $^1/_{40}$% Bleiacetat zur Lösung anwendet (Lummer u. Kurlbaum 1895). Man erhält dann mit zwei Akkumulatoren oder drei bis vier Daniell-Elementen einen schön schwarzen Niederschlag, wenn die Stromstärke mittels eines Rheostaten so regulirt wird, dafs eine mäfsige Gasentwicklung eintritt. Die Stromdauer mag 5 bis 10 Minuten betragen. So platinirte Elektroden sind den ohne Bleizusatz erhaltenen bei gleicher Flächengröfse um das 5 bis 10fache überlegen (vgl. Kohlr. 22. 1897).

Eine Platinanode wird durch den Strom nicht angegriffen, also verdünnt die Lösung sich durch den Gebrauch. Man kann die Nichtangreifbarkeit benutzen, um die zu platinirende Elektrode dadurch zu reinigen, dafs man den Strom zu Anfang in verkehrter Richtung durchsendet, wobei sich Chlor entwickelt. Ein zu platinirendes Paar von Elektroden benutzt man also abwechselnd als Anode und Kathode.

Nach dem Platiniren sind die Elektroden längere Zeit, am besten warm, auszuwässern, weil mit dem Entstehen des Platin-

Digitized by Google

mohrs Teile aus der Lösung eingeschlossen und hartnäckig festgehalten werden, die im Laufe der Zeit aber wieder in Flüssigkeiten, mit denen die Elektroden in Berührung stehen, heraustreten und diese verunreinigen. Besonders wenn die Elektroden zur Untersuchung sehr schlecht leitender Flüssigkeiten, wie etwa reines Wasser gebraucht werden sollen, ist das zu beachten.

Gröfse der Elektroden.

Damit die Wirkung der Polarisation bei Wechselströmen verschwindet, wird eine gewisse Flächengröfse der Elektroden verlangt, die um so beträchtlicher sein mufs, je langsamer der Stromwechsel geschieht und je kleiner der zu messende Widerstand ist.

Bei telephonischer Messung giebt sich eine ungenügende Fläche dadurch zu erkennen, dafs der Ton unvollkommen ausgelöscht wird (vgl. hierzu aber § 10 II und § 12 I).

Bei gut platinirten Elektroden (vor. S.) kann man annehmen, dafs zum vollkommenen Verschwinden des Tones eine Fläche von etwa $50/w$ bis $100/w$ cm² notwendig ist, wenn der zu messende Widerstand w Ohm beträgt. Um aber ein zur Einstellung noch brauchbares Ton-Minimum zu haben, genügt auch eine Fläche von etwa $10/w$ bis $20/w$ cm². Also mit 1 cm² grofsen Elektroden kann man 50 bis 100 Ohm noch scharf messen, 10 bis 20 Ohm noch mit guter Annäherung. Bei der früheren Platinirung ohne Bleizusatz war für den gleichen Erfolg eine mehrfach gröfsere Fläche nötig.

Zu beachten ist, dafs die unter Zusatz von Blei hergestellten platinirten Flächen sich nach längerem Liegen an der Luft zuweilen schwierig benetzen lassen, wovon dann ein ganz schlechtes Minimum und eine ganz unrichtige Einstellung die Folge ist. Man sieht in einem solchen Falle an der untergetauchten Elektrode wegen einer Lufthaut Licht reflektirt. Benetzen mit Alkohol, den man wieder abspült, hilft hiergegen augenblicklich.

Blanke Elektroden.

Absorption von Säuren und Alkalien. Die Schicht von Platinmohr hat alkalischen oder sauren Lösungen gegenüber die oft unbequeme Eigenschaft, Stoffe aus der Lösung zu absorbiren; bei schwachen derartigen Lösungen nimmt man leicht wahr, dafs das Leitvermögen nach eingetretener Berührung mit solchen Elektroden anfangs abnimmt. Eine zweite unangenehme Seite ist das langsame, oft tagelang dauernde Wiederheraustreten der absorbirten Stoffe, wenn nachher eine schwächere Lösung oder Wasser eingefüllt wird (Kohlr. 12. 1885; Kellner 1896).

Es genügen aber für schlecht leitende Flüssigkeiten, also grofse

Digitized by Google

Widerstände, oft auch blanke bez. ganz schwach platinirte Elektroden. Blanke, reine (nötigenfalls mit Alkohol vorbehandelte) Elektroden werden in einem Widerstande von w Ohm bei einer Gröfse von etwa $250/w$ cm² bis auf 1 % richtige Resultate geben, bei der 10fachen Fläche bis auf 1 ‰. Solche Fälle kommen nicht selten vor, z. B. wird für ein nur zur Untersuchung destillirten Wassers bestimmtes Gefäfs das Platiniren der Elektroden zwecklos und daher zu vermeiden sein.

Neutral reagirende wässrige Lösungen werden auch von platinirten Elektroden ohne Mühe rasch abgespült, für höhere Alkohole aber sind blanke Elektroden vorzuziehen.

Anschweifsen, Anlöten und Anschmelzen von Platin.

Zum Anschweifsen eines Platindrahtes legt man die Elektrode auf einen so weit vorgewärmten kleinen Ambos, dafs sich kein Wasser niederschlägt, richtet auf dieselbe eine kräftige Stichflamme, in welcher zugleich, ganz dicht vor der Elektrode, das plattgeklopfte Drahtende hell weifsglühend gemacht wird, und führt nun mit einem scharfen Hämmerchen einige leichte Schläge auf das letztere. Zwei zu verbindende Platindrähte kann man ebenso behandeln oder man wickelt sie mit den Enden aneinander, macht sie dicht über dem Ambos weifsglühend und schlägt sie zusammen mit einem kurzen leichten Schlag nieder.

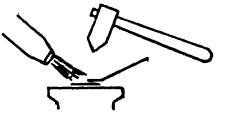

Fig. 1.

Durch Verschmelzen lassen zwei Platindrähte sich in der Stichflamme des Sauerstoffgebläses verbinden, ein Platin- mit einem Kupferdraht in der gewöhnlichen Gebläsestichflamme, welche das Kupfer leicht schmelzt. Die dabei entstehenden Verdickungen des Kupfers kann man abfeilen.

Zum Verlöten eines Drahtes mit einer Elektrode durch Gold fafst man den Draht mit einem Feilklöbchen, schlägt das Drahtende unter wiederholtem Ausglühen platt und biegt es schräg gegen den Draht. Die Elektrode wird auf ein vorgewärmtes Stückchen Chamotte gelegt und an der anzulötenden Stelle mit einem ganz kleinen flachen Stück reinen Goldes und etwas Boraxpulver belegt. Das Drahtende, immer im Feilklöbchen gehalten, wird mit der Hand, oder wenn diese nicht ruhig genug ist, in ein Stativ eingespannt, etwas federnd auf das Gold gedrückt; letzteres bringt man mit der Stichflamme der Gebläselampe zum Schmelzen. Schliefslich richtet man den Draht in die gewünschte Form.

Zum Einschmelzen eines Platindrahtes in Glas bläst man in das Glas eine kleine Öffnung, durch welche der Draht gesteckt wird, dessen einzuschmelzende Stelle vorher mit einem Tropfen Einschmelzglas umhüllt wurde. Man läfst die Gläser zusammenfliefsen und kühlt langsam ab (vgl. z. B. Ebert, Anleitung zum Glasblasen, 1896).

Digitized by Google

Widerstandskapacität eines Gefäfses.

Unter Widerstandskapacität C eines Raumes zwischen zwei Elektroden verstehen wir den Widerstand, welchen die Ausfüllung des Raumes mit einem Leiter vom Leitvermögen Eins bewirkt. Gibt eine Flüssigkeit vom Leitvermögen $\varkappa$ den Widerstand w, so ist also $w = C/\varkappa$ oder

$$\varkappa = \frac{C}{w} \quad \text{oder} \quad C = \varkappa w.$$

Die eine Gleichung wird gebraucht, um das Leitvermögen zu berechnen, wenn die Kapacität gegeben ist, die andere, um die Kapacität mit einer Flüssigkeit von bekanntem Leitvermögen zu bestimmen.

Ein cylindrischer Raum von der Länge l cm und dem Querschnitt f cm² zwischen Elektroden von gleichem Querschnitt hat also die Kapacität

$$C = \frac{l}{f}.$$

Füllen die Elektroden, wie gewöhnlich, den Querschnitt nicht vollständig aus, so ist die Kapacität je nach den Verhältnissen mehr oder weniger gröfser. Bei einem relativ langen Cylinder trifft der Ausdruck, wenn die Elektroden nahe passen, genähert zu. Münden die Enden eines cylindrischen Rohres in viel weitere Gefäfse mit grofsen Elektroden, so kommt an jedem Ende der Ausbreitungswiderstand hinzu und es ist die Kapacität zu berechnen

$$C = \frac{l + 0{,}80 \cdot d}{f},$$

wo d den lichten Durchmesser des Rohres bedeutet. Statt $0{,}80 \cdot d$ kann gerechnet werden $0{,}90 \cdot \sqrt{f}$.

Die empirische Bestimmung von Kapacitäten siehe in § 15.

6. Gestalten von Widerstandsgefäfsen.

In erster Linie mafsgebend ist hier das Leitvermögen der zu untersuchenden Flüssigkeiten. Damit der Widerstand in angemessenen Grenzen bleibe, wird für sehr schlecht leitende Flüssigkeiten, so wie etwa Wasser, ein kurzer Abstand grofser Elektroden in einem weiten Gefäfs verlangt; umgekehrt ist für gute

Digitized by Google

Leiter, wie stärkere Lösungen von Salzen, Säuren und Alkalien, zwischen den Elektroden ein Verbindungsrohr von relativ zum Querschnitt beträchtlicher Länge geboten. Man muß also zu den verschiedenen Zwecken über mehrere Gefäße verfügen.

Im Allgemeinen werden Widerstände von etwa 50 bis zu 1000, vielleicht bis 2000 Ohm am angemessensten sein. Einerseits nämlich treten dann die Nachteile großer Widerstände bei Wechselströmen noch nicht auf und andrerseits liegen auch die Schwierigkeiten nicht vor, welche bei sehr kleinen Widerständen empfindlich werden, nämlich die Herstellung guter Verbindungen und die umständliche Rücksichtnahme auf die Zuleitwiderstände, die sich noch dazu oft nicht einmal genau ermitteln lassen.

Aus der Beziehung $w = \frac{1}{\varkappa}\frac{l}{f}$ oder $\frac{l}{f} = \varkappa \cdot w$, wenn l die Länge, f den Querschnitt der Flüssigkeitssäule bedeutet, läßt sich bei gegebenen Leitvermögen $\varkappa$ das Verhältnis l/f schätzen, welches den gewünschten Widerstand ergibt. Für best leitende Flüssigkeiten von $\varkappa = 0{,}7$ muß also, damit $w = 50$ wird, $l/f = 35$ werden, also z. B. bei einem Querschnitt $f = 0{,}5$ cm², d. h. bei 0,8 cm lichter Rohrweite, $l = 18$ cm; bei $f = 0{,}1$ cm² (0,36 cm Weite) genügt $l = 4$ cm. Diese Rohre sind auch für nicht zu verdünnte Lösungen der Salze brauchbar.

Auch kleinere Querschnitte und Längen kann man nehmen; man ist ja dazu gezwungen, wenn nur wenig Flüssigkeit zur Verfügung steht. Aber eine Grenze ist hier dadurch gegeben, daß die Temperaturerhöhung durch die Stromwärme mit der Abnahme der Flüssigkeitsmenge steigt (vgl. § 12 I). Jedenfalls sind hier dünnwandige Röhren geboten, damit die Stromwärme rasch abfließt. Umgekehrt sind auch große Flüssigkeitsmengen, weil sie der Temperatur des Bades langsam folgen, zu vermeiden. Eine Röhrenweite von 2 cm wird man aus diesem Grunde nicht gern überschreiten, falls man nicht ein Thermometer in die Flüssigkeit selbst einführen kann.

I. Für schlecht leitende Flüssigkeiten.

In ein Fläschchen von 10 bis 100 ccm sind Elektroden mit durch die Wand geschmolzenen Zuleitungen eingeführt. Der

Digitized by Google

Boden des Gefäfses ist unten eingezogen; die Elektrode sitzt in dem dadurch gebildeten inneren spitzen Winkel fest. Ein Stöpsel oder besser ein eingeschliffenes Thermometer (Fig. 2), dessen längliches Gefäfs etwa in mittlerer Höhe der Elektroden steht, ist zweckmäfsig oder bei leicht verdampfenden Flüssigkeiten auch notwendig. Zum Feststellen des Fläschchens kann ein passend ausgebohrter Holzklotz dienen.

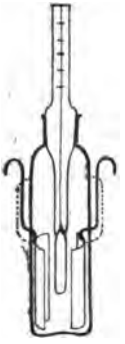

Fig. 2.

Eine gut definirte Widerstandskapacität erzielt man am einfachsten dadurch, dafs man stets bis beinahe obenhin oder wenigstens bis zu hinreichender Höhe über den Elektroden (mindestens etwa gleich dem Elektrodenabstand) füllt, so dafs dann eine genaue Innehaltung dieser Höhe nicht notwendig ist. Besitzt das Gefäfs eine Höhenteilung, etwa in $^1/_2$ cm, so kalibrire man es auf einige Füllungshöhen und verfertige daraus mittels graphischer Darstellung eine Tabelle für alle Höhen (Kohlr. 8. 1879).

Die Einschmelzstellen der Drähte werden durch Umhüllen des Drahtes mit einem, punktirt angedeuteten, Kitt von niederem Schmelzpunkt (damit nicht das Glas beim Aufbringen springt) also etwa Wachs-Kolofonium-Kitt, geschützt bez. gegen etwaige Bäder isolirt.

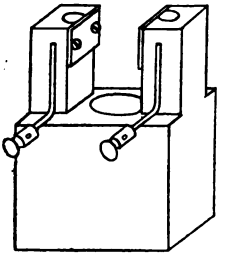

Fig. 3.

Die Stromzuleitung kann durch weiche dünne Kabel mittels Klemmen an den Drähten geschehen, welche letztere, falls sie nicht sehr stark sind, mit einem Seide- oder Guttapercha-Faden an den Hals angebunden seien. Immerhin gefährdet die häufige Anlegung der Verbindung die Drähte. Der Holzklotz (Fig. 3), in den das Gefäfs eingehängt wird, läfst diese Gefahr vermeiden. Aufserdem erspart er viele Zeit, besonders wenn öfters geschüttelt werden mufs oder wenn mit mehreren Fläschchen gleichzeitig gearbeitet wird; diese wechselt man einfach in dem Klotz aus. Der untere, kubische Teil des Klotzes hat eine ausgebohrte Öffnung, in die das Fläschchen lose hineinpafst. Am inneren Rande der beiden oberen Fortsätze sind kleine Vertiefungen zur Aufnahme von Quecksilber ausgeschnitten, dessen Ausflieſsen durch seitlich angeschraubte eiserne Plättchen verhindert wird. In das Quecksilber führen von den Klemmen die, vorn amalgamirten, Kupferdrähte und von den Elektroden die geeignet gebogenen Platindrähte, die sich auf den eisernen Rand aufhängen. Die

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Enden der Platindrähte mögen durch Eintauchen als Kathoden in eine Lösung von Quecksilbernitrat amalgamirt sein.

Die Widerstandskapacität wird durch die Gröfse und den Abstand der Elektroden bestimmt; sie beträgt bei den gebräuchlichen Formen etwa $C = 0{,}15$ bis $0{,}3$ cm^{-1}. Bis zu Leitvermögen gleich 0,01, und wenn die Elektroden sehr gut platinirt sind, auch wohl bis 0,03, können solche Gefäfse genügen, d. h. bis zu Normallösungen der schlechter leitenden Salze sowie für schwächere Säuren und Basen. Gutes Wasser andrerseits gibt den, allerdings übermäfsig grofsen, Widerstand von einigen 100000 Ohm; weil grofse Genauigkeit hier selten verlangt wird schadet das nicht viel.

Zur genaueren Untersuchung so schlecht oder noch schlechter leitender Flüssigkeiten wird aber ein kleinerer Elektrodenabstand oder eine gröfsere Elektrodenfläche gefordert. Durch steife Verbindungsdrähte und Elektroden aus starkem Blech, so dafs sie sich nicht an die Flaschenwände anzulegen brauchen, ist ein kleiner Abstand zu erzielen. Die Drähte können durch die Glaswand geschmolzen sein (Fig. 4) oder an einem Hartkautschukdeckel sitzen und dann auf verschiedene Abstände einstellbar gemacht werden (Fig. 5). Je gröfser der Abstand, desto gröfser ist der Einfluſs der Füllungshöhe auf die Widerstandskapacität (vgl. Kohlr. 12. 1885).

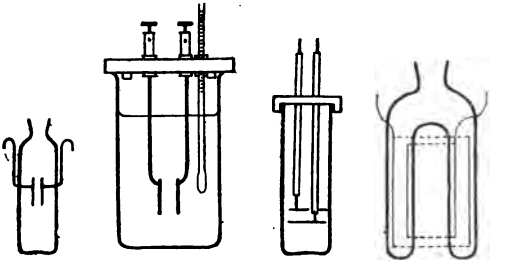

Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7.

Durch die Anwendung von zwei Kapillarröhren im Deckel, die oben eingekittete Kupferdrähte, unten durchgeschmolzene Platindrähte mit parallelen Elektroden haben, entsteht die Form Fig. 6. Die Drähte sind durch eine Quecksilberfüllung in den Glasröhren oder besser durch Zusammenschmelzen (S. 11) in leitendem Kontakt (Arrhenius 1. 1884).

Mittels koncentrischer Elektroden läfst sich die grofse Fläche mit dem kleinen Abstand vereinigen (Fig. 7). Zwei Glasröhren

Digitized by Google

sind, unten geschlossen, ineinander geschmolzen, so daß zwischen ihnen ein Hohlcylinder entsteht. Über das innere und in das äußere Rohr sind Platincylinder geschoben (Pfeiffer 2. 1885).

II. Gefäße für besser leitende Flüssigkeiten,

worunter solche vom Leitvermögen etwa $\varkappa = 0{,}01$ aufwärts verstanden sein sollen. Hier sind zahlreiche Formen möglich; sie müssen die Forderung erfüllen, daß man sie ohne Nebenschluß in ein Bad einsetzen kann.

Die älteste Form bildet Fig. 8 (Kohlr. u. Grotrian 1874). Das Verbindungsrohr kann eine Weite etwa zwischen $^1/_2$ und 2 cm (vgl. die Bemerkung S. 13) haben und eine Länge von 1 bis vielleicht 40 cm. Die Elektroden sind in einem Schlitz des Hartkautschukdeckels verstellbar und mit dem

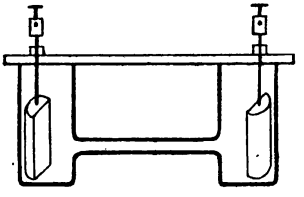

Fig. 8.

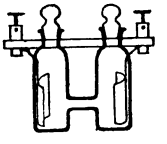

Fig. 9.

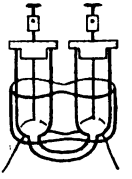

Fig. 10.

Deckel herauszuheben; sie werden an die Rückfläche der Seitengefäße angelegt. Damit die Fehler aus kleinen unvermeidlichen Verschiedenheiten der Stellung unter $^1/_{1000}$ bleiben, wird man die Kapacität solcher Gefäße mit nicht fixirten Elektroden nicht viel unter 10 nehmen dürfen.

Gefäße ähnlicher Gestalt mit festen Elektroden (Fig. 9) werden der Kosten des Platins wegen nur in geringerer Größe angewandt. Die Durchschmelzstellen des Drahtes sollen so hoch liegen, daß sie nicht bis an die Flüssigkeit eines Bades reichen. Der übergesetzte, mit einem Faden an das Verbindungsrohr anzubindende Deckel aus Hartkautschuk oder paraffinirtem Holz mit Klemmen verhindert das Verbiegen und Abbrechen der Drähte.

In Fig. 10 sitzen die Elektroden auf den Rändern der trichterförmigen Verjüngungen auf, indem sie durch die Hartkautschukdeckel lose hindurchgehen. Luftblasen unter den

Digitized by Google

Elektroden bringt man mittels raschen Einsetzens zum Entweichen durch die nahe der Mitte angebrachten Löcher.

Fig. 11 und 12 stellen Gefäfse mit kleinen (also sehr gut platinirten S. 9) Elektroden vor. Fig. 11 kann man leicht selbst verfertigen. Ein Glasrohr von etwa 1 cm Weite wird im Bunsenbrenner ausgezogen und gebogen. Die Elektroden sind an Platindrähte angeschweifst oder mit Gold verlötet (vgl. S. 11). Der Platindraht ist in einen stärkeren Draht aus Messing, Nickel, Silber eingeschraubt oder eingelötet, der in einem Kork oder Kautschukstopfen verschiebbar ist. Diese Gefäfse lassen sich so klein herstellen, dafs 1 ccm Flüssigkeit genügt. Es mufs dann aber auf die Fehler aus der Stromwärme besonders aufmerksam geachtet, also unbedingt im Bade gearbeitet werden.

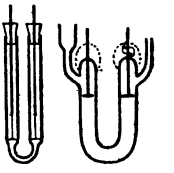

Fig. 11. Fig. 12.

Die Elektroden von Fig. 12 sitzen an eingeschmolzenen Zuleitungsdrähten von $^3/_4$ mm Dicke, deren Durchtrittsstelle durch das Glas mit einem Wulst von Wachs-Kolofoniumkitt geschützt ist. Damit der Kitt genügenden Halt gibt, schiebt man über den Draht vor dem allmählichen Aufbringen des geschmolzenen Kittes das rechts gezeichnete gebogene Stückchen Blech oder einen sperrig geformten anderen Draht. Oder der Platindraht ist in eine Klemme geschraubt, die mit einer über das Glas gekitteten Metallkappe durch ein weiches Lot mittels des Lötkolbens verbunden wird.

Die, nicht zu engen Röhrchen zum Eingiefsen der Flüssigkeit bez. Entweichen der Luft liegen in Wirklichkeit senkrecht zur Ebene der Zeichnung, auf derselben Seite austretend, wodurch das Eingiefsen erleichtert wird. Ein Drahtgestell trägt das Gefäfs. Ein solches Gefäfs von 1 cm^2 Querschnitt und 10 cm Länge des Rohres, d. h. von der Widerstandskapacität etwa $C = 10\ cm^{-1}$ würde sich für die meisten nicht zu verdünnten Salzlösungen eignen. Durch Verkürzen bez. Erweitern des Rohres wird man bis zu etwa $C = 4$ herabgehen können und verdünnte Lösungen bis zu etwa $^1/_{50}$ normal gut untersuchen können. Umgekehrt mag man für die bestleitenden Flüssigkeiten das Verbindungsrohr auf etwa 5 mm Weite verjüngen und etwas länger nehmen. Soll das Leitvermögen auch

Digitized by Google

im Bade von höherer Temperatur gemessen werden, so ist die Länge des Rohres oberhalb der Elektroden länger zu wählen; die Füllung aber nicht höher als nötig auszuführen.

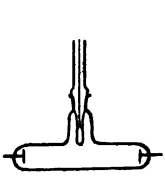

Fig. 13.

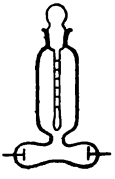

Fig. 14.

Durch kleine Elektroden und längliche Gestalt können auch die Formen mit Thermometer auf größere Kapacität gebracht werden. Der Strom kann durch Quecksilber zu den amalgamirten Platinenden zugeführt werden (Fig. 13). In Fig. 14 lassen sich durch Zufügen von Lösungsmittel Verdünnungen einer untersuchten Lösung herstellen und untersuchen.

Fig. 9 u. 10: Kohlr. 8. 1879; 11 u. 12: K. 22. 1897; 14: M. Maltby 1895. Gefäße, z. B. Fig. 2 u. 9, fertigt die Glashütte Schilling in Gehlberg.

III. Tauchelektroden (Fig. 15 u. 16).

Es kann bequem oder sonst vorteilhaft sein, das Leitvermögen einer Flüssigkeit in ihrem Aufbewahrungsgefäß zu bestimmen. Besonders bei dem Wasser ist dies der Fall.

Die Anordnung der einzutauchenden Elektroden muß derartig sein, daß ihre Stellung gegen die Oberfläche oder die Wände gleichgiltig ist. Man umgibt sie deswegen mit einer Glashülle, welche keine Stromfäden von merklicher Menge austreten läßt. Die Stromzuführung wird durch Doppelkapillaren vermittelt; die Elektroden sind an Platindrähte angeschweißt oder gelötet und diese mit Kupferdrähten verschmolzen (S. 11). Die Platindrähte werden in das Glas eingeschmolzen.

Die Schutzhüllen werden zuletzt angebracht. Sie sind unten, wenn nötig, so weit verengt, daß in Betracht kommende Stromteile nicht austreten, ein Loch oben läßt bei dem Eintauchen die Luft entweichen.

Der Stiel kann so lang genommen werden, wie es die Tiefe der Flaschen fordert. An der Austrittstelle umgießt man die Drähte, nachdem man sie umgebogen hat mit Wachskolofonium-Kitt, der sich dabei in die vorgewärmte Kapillare ein wenig hineinzieht. Vgl. Kohlr. 19. 1894.

Digitized by Google

Für schlechte Leiter dienen parallele ebene Elektroden, je nach der Gröfse der gewünschten Widerstandskapacität kleiner oder gröfser und in geringerem oder gröfserem Abstande voneinander; Fig. 15. Je 2 qcm Fläche und 0,2 cm Abstand geben etwa die Kapacität 0,1, die bis zu gutem Wasser aufwärts zu gebrauchen ist. Sollen diese Elektroden nur für Wasser oder ganz verdünnte Lösungen dienen, so läfst man dieselben, damit die Reinigung leichter ist, blank oder platinirt sie nur schwach. $^1/_2$ qcm Fläche und $1^1/_2$ cm Abstand gibt, wenn die Rückseite der Elektroden den Glaswänden nahe steht, etwa die Kapacität 2, mittels deren, gute Platinirung vorausgesetzt, Salzlösungen bis zu halbnormaler, teilweise bis zu normaler Koncentration hinauf, auch alle alkoholischen Lösungen untersucht werden können. Mittels einer sehr verdünnten Lösung eines Sulfates lassen, falls auch die Elektroden von kleinem Abstande platinirt sind, beide Kapacitäten sich direkt miteinander vergleichen (§ 11, IV).

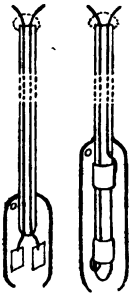

Fig. 15. Fig. 16.

Tauchelektroden für gute Leiter; Fig. 16. Zwei dünne Platinbleche von etwa 1 cm Breite werden 3 bis 5 cm voneinander auf der Doppelkapillare befestigt, wobei es genügt, dieselben fest umzuwickeln und je an zwei Stellen mit dünnem Platindraht festzubinden. Hierdurch und aufserdem durch die beiden in die Kapillare eingeschmolzenen Zuleitungsdrähte wird die Lage hinreichend gesichert. Die Bleche werden gut platinirt. Die Widerstandskapacität wird durch die Weite des überzuschmelzenden Schutzrohres bestimmt, welches man in der Mitte auch verjüngen kann. Die obere Öffnung des Schutzrohres ist hier selbstverständlich nicht unterzutauchen. Soll das Rohr für bestleitende Flüssigkeiten dienen, so kann man das Schutzrohr zwischen, nicht an den Elektroden einengen.

IV. Gefäfse von veränderlicher Kapacität (U-Gefäfse).

Dieselben vereinfachen einerseits die Hilfsmittel und andererseits die Rechnung, indem man entweder den Widerstand w oder die Kapacität C in runder Zahl wählen kann und also bei der Berechnung von $x = C/w$ keine Logarithmen gebraucht; vgl. § 11, IX. Die Fehlergrenze der Einstellung beträgt einige Promille bis zu etwa einem Procent bei den kleinsten Kapacitäten.

Die kleinen verschiebbaren Elektroden werden sehr gut platinirt vorausgesetzt (S. 9). Sie sind zunächst an Platindrähte geschweifst oder gelötet (S. 11), die letzteren sind in einen kräftigeren Stiel von einem weniger kostbaren aber einiger-

Digitized by Google

mafsen chemisch widerstandsfähigen Material, etwa Silber oder Nickel eingeschraubt. Eine kleine Scheibe gibt dem unteren Ende des Stiels eine Führung, gehalten wird derselbe durch einen ausgebohrten weichen Kork; Kautschukstopfen gewähren nicht die geforderte gleichmäfsige Reibung.

Zum bequemeren Eingiefsen und um einen nicht zu kleinen Kork gebrauchen zu können, dienen die Erweiterungen an den Enden. Die Korke sind mit einer eingeschnittenen Rille zu versehen, damit die Luft entweichen kann; sie werden nach Bedarf gereinigt, getrocknet oder erneuert, im letzteren Falle vorher mit der Korkpresse oder in heifsem Wasser elastisch gemacht. Gegen Zerbrechen schützt ein zwischen die Schenkel gebundener passend ausgefeilter Kork oder zwei Korkhälften.

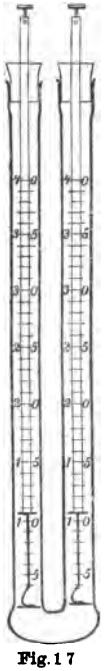

Fig. 17

Die Zahlen der Figuren sind so zu verstehen, dafs, wenn die eine Elektrode auf dem Striche l, die andere auf r steht, die Kapacität $C = l + r$ ist.

Die Rohrlänge richtet sich nach dem Querschnitt. Beträgt dieser 0,5 cm^2 (d. h. Rohrweite = 8,0 mm), so bedeutet $^1/_2$ cm Länge die Kapacität Eins, also genügen zu einer gröfsten Kapacität = 80 cm^{-1} Röhren von etwa 20 cm Teilung auf jeder Seite. Darin lassen sich alle Lösungen bis gegen $^1/_{100}$ normal abwärts untersuchen. Für noch gröfsere Verdünnungen sind solche Gefäfse ohnehin nicht geeignet.

Das Gefäfs wird von einem Stativ gehalten (Fig. 44 S. 53) und ist hinreichend tief in ein Bad mit Thermometer eingetaucht (§ 23).

Beliebig veränderliche Kapacität; Fig. 17. Die Teilung ist, wie auf einem Mafsstabe, durchgeführt, so dafs man jede Elektrodenstellung auf ihr ablesen kann. Zur Messung kann jede Nullmethode gebraucht werden, z. B. Brückenverzweigung durch gleiche Widerstände (§ 11 II) oder Differentialinduktor (§ 11 IX). Man vergleicht mit einem Rheostatenwiderstande R von passender, runder Gröfse und stellt mittels der verschiebbaren Elektroden auf Verschwinden des Tones ein. Die hierfür nötige Stellung gibt dann diejenige Kapacität C (gleich der Summe der Ablesungen $C_l + C_r$ links und rechts), bei welcher die untersuchte Flüssigkeit den Vergleichswiderstand R zeigt; das Leitvermögen ist also $\varkappa = C/R$

Digitized by Google

und läfst sich ohne Mühe berechnen, wenn R eine runde Zahl ist; es wird, bis auf das Komma, direkt abgelesen, wenn R 10, 100 etc. Ohm beträgt. Will man die letztere Vereinfachung haben oder verfügt man im Rheostaten nur über ganze Potenzen von 10, so mufs, um beliebige Flüssigkeiten untersuchen zu können, die Teilung mindestens ein Intervall von Kapacitäten umfassen, die sich wie 1 : 10 verhalten. Natürlich wird die Einstellung in dem Gebiete der kleinen Kapacitäten relativ ungenauer. Vergleicht man mit einem vollständigen Rheostaten, so braucht das Stück Teilung nur kurz zu sein.

Eine neu zu beschaffende Einrichtung wird man am besten aus einem Gefäfs mit einer Teilung von $C = 5$ bis 60 (2,5 bis 30 auf jeder Seite) und einem vereinfachten Rheostaten von 30 70 200 700 2000 (7000) Ohm (§ 7) sowie entweder einem kleinen Differentialinduktor oder einem einfachen Induktor mit zwei Verzweigungswiderständen von je 100 Ohm (§ 11 II) zusammensetzen.

Über die Anordnung des Versuchs s. S. 36 u. 53.

U-Gefäfse mit einzelnen Kapacitäten. Für die Brücke mit Schleifkontakt (§ 11, IV) ist keine zusammenhängende Reihe von Kapacitäten notwendig. $C = 5$ 10 20 40 und 60 werden für alle Zwecke ausreichen. Röhren der Art kann man sich leicht selbst verfertigen, indem man die Marken mit dem Schreibdiamant einritzt. Als Vergleichswiderstände werden 100 und 1000 Ohm genügen, denn bestleitende Flüssigkeiten von $\varkappa = 0{,}7$ geben mit $C = 60$ untersucht, 86 Ohm, Hundertel-Normallösungen mit $C = 5$ geben Widerstände um 5000 Ohm, würden also noch zu beobachten sein. Über die Ausführung der Messung vgl. S. 39 bis 43 und § 25. Über die Kalibrirung der U-Gefäfse s. § 15, V.

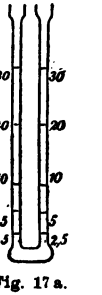

Fig. 17a.

Die U-Gefäfse können von Schilling in Gehlberg oder von Mechaniker Meyerling in Charlottenburg bezogen werden.

7. Rheostatenwiderstände.

Die Mafsgabe für jeden Rheostaten, dafs der Drahtwiderstand von der Temperatur möglichst wenig beeinflufst wird, also am besten aus Manganin oder Konstantan besteht, gilt auch hier. Die Stöpsel sollen aus einem mittelharten Metall bestehen, am besten wohl aus Messing, schlank konisch und nicht zu dick sein, so, wie etwa die von Siemens eingeführte Form. Die Stöpsel werden von Zeit zu Zeit mit einem Petroleumläppchen gereinigt.

Thermoelektrische Kräfte an den Verbindungsstellen kommen bei den Wechselströmen nicht in Betracht. In sehr viel höherem

Digitized by Google

Maafse aber, als bei der Widerstandsbestimmung mit konstantem Strome machen sich bei kleinen Widerständen die Fehler der Selbstinduktion und bei grofsen diejenigen der Kapacität einer Widerstandsrolle fühlbar. Wegen des letzteren Umstandes mufs das gewöhnliche Mittel gegen Selbstinduktion, die bifilare Wickelung bei grofsen Widerständen durch die unifilar abwechselnde Wickelung ersetzt werden. Vgl. hierüber § 12 II.

Die Aufstellung der Fehlertabelle eines Rheostaten wird so bewirkt, dafs man erstens seine Widerstände untereinander vergleicht (vgl. Kohlr., Leitfaden § 71d) und zweitens einen oder eine Gruppe derselben auf einen Normalwiderstand zurückführt oder durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt zurückführen läfst.

Eine Siemens-Einheit ist $= 1/1{,}063 = 0{,}9407$ Ohm, ein „legales" Ohm $= \frac{1{,}060}{1{,}063} = 0{,}9972$ Ohm, eine Brit. Assoc.-Einheit $= 0{,}9867$ Ohm. Statt Ohm wird in diesem Sinne auch wohl „internationales" Ohm gesagt.

Vereinfachte Widerstandssätze.

Sowohl bei der Brücke mit Schleifkontakt wie bei dem Gebrauch von Widerstandsgefäfsen von variabeler Kapacität ist es grofsenteils zwecklos, über die vollständige Auswahl von Widerständen zu verfügen, welche in der Rheostatenanordnung 1 2 2 5 10 etc. oder 1 2 3 4 10 etc. vorliegt. Meistens kommt man mit den Potenzen von 10 aus: 1 10 100 etc., doch ist häufig auch eine etwas gröfsere Auswahl wünschenswert. Es empfiehlt sich die Anordnung 2 7, wenn man in der ersten Dekade noch den Einer hinzunimmt oder 3 anstatt 2 nimmt. Aus der Reihe 1 2 7 20 70 200 kann man bilden 1 2 3 7 10 20 30 etc. bis 300. Insofern elektrolytische Widerstände, die unter 10 Ohm liegen, doch selten gemessen werden können, erscheint ein Widerstandskasten von

10 20 70 200 700 2000 7000 Ohm,

aus welchem sich aufserdem 30 100 300 1000 3000 und 10000 Ohm bilden lassen, für alle Zwecke ausreichend. Zur Prüfung der Richtigkeit ist man natürlich auf den Vergleich

Digitized by Google

mit einem anderen Rheostaten oder auf die Prüfung durch die Physik.-Techn. Reichsanstalt hingewiesen.

Noch ausgiebiger ist die folgende Anordnung, welche bei verschiebbaren Elektroden (S. 20) gebraucht werden kann. Sie benutzt verschiedene Verzweigungsverhältnisse 1 : 1, 1 : 10 und 1 : 100. Wenn alsdann die Vergleichswiderstände 100, 500 und 2000 Ohm zur Verfügung stehen, so hat man durch Kombiniren derselben mit den genannten Verhältnissen die Auswahl zwischen 1 5 10 20 50 100 200 500 1000 2000 5000 10000 20000 50000 und 200000 Ohm (z. B. $2000 \times \frac{1}{10} = 200$; $100 \times 10 = 1000$; $2000 \times \frac{1}{100} = 20$ Ohm).

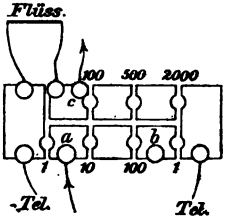

Fig. 18.

Figur 18 zeigt, wie man dies alles an einem Kästchen mit 8 Metallklötzen mit Stöpseln vereinigen kann. Unten sind die Verzweigungsverhältnisse herzustellen, man nimmt in Wirklichkeit etwa 5, 50 und 500 Ohm für 1 : 10 : 100. Die Eins ist beiderseitig vorhanden, damit man jedes Verzweigungsverhältnis von rechts oder von links haben kann, wobei die Stromzuführung entweder bei *a* oder bei *b* zu geschehen hat. Oben befinden sich die drei Rheostatenwiderstände und ein überzähliger Klotz zum Anschlufs des unbekannten Widerstandes.

(Vgl. Kohlr. 22. 1897.)

8. Zuleitwiderstände.

Den Widerstand einer Flüssigkeit so, wie im Allgemeinen vorausgesetzt wird, für sich zu messen, ist wegen der Zuleitung des Stromes durch die Drähte der Kabel und durch die Elektroden unmöglich, da hierin leicht mehrere Hundertel Ohm stecken. Der Widerstand eines Kupferdrahtes beträgt $\frac{1}{60}\frac{l}{f}$ Ohm, wenn die Länge l in m, der Querschnitt f in mm² gemessen wird. Den Widerstand von Kabeln kann man aus der Anzahl etc. der Drähte schätzen. Reiner Platindraht hat ebenso gemessen $\frac{1}{7}\frac{l}{f}$ Ohm; das Platin ist aber häufig unrein und kann bis zum doppelten Widerstande steigen.

Der Querschnitt eines blanken Drahtes, von welchem ein Meter m gr wiegt, beträgt bei Kupfer $\frac{m}{8{,}7}$, bei Platin $\frac{m}{21}$ qmm.

Man kann den Zuleitungswiderstand auch empirisch be-

Digitized by Google

stimmen, indem man zwischen die Elektroden Quecksilber bringt, am besten bevor dieselben platinirt sind. Liegen die Elektroden nicht an einer Wand fest an, so muſs freilich versucht werden, ob sie sich nicht verbiegen. Die Messung kann z. B. mit der Drahtbrücke und dem Telephon ausreichend genau gemacht werden, nur ist bei den kleinen Widerständen sorgfältig auf Ausschluſs von Selbstinduktion zu achten; man muſs also zu diesem Zweck weitere Schleifen der Verbindungen vermeiden, also die Drähte am besten überall dicht nebeneinander so führen, daſs entgegengesetzte Ströme beisammen liegen. Vgl. § 12, II.

Der Widerstand des Elektrolytes allein ist natürlich gleich dem gefundenen, vermindert um den Zuleitwiderstand γ. Bei relativ kleinen Zuleitwiderständen kann man auch, um den logarithmischen Gang der Rechnung nicht zu unterbrechen, zunächst ohne Rücksicht auf γ zu Ende rechnen. Kommt dabei das Leitvermögen $\varkappa'$ des Elektrolytes heraus, so hat man $\varkappa'$ noch mit $1 + \varkappa' \frac{\gamma}{C}$ zu multipliciren, d. h. $\varkappa'^2 \cdot \frac{\gamma}{C}$ zu $\varkappa'$ hinzuzufügen, wenn C die Kapacität des Gefäſses (§ 5, V) ist. $\varkappa'^2 \cdot \gamma/C$ kann man der Bequemlichkeit halber in einer Tabelle oder Kurve darstellen.

Werden gleiche Widerstände verglichen, so kann man oft die Zuleitungen beiderseitig gleich wählen, so daſs sie sich herausheben. Kleinheit der Zuleitwiderstände ist unter allen Umständen vorteilhaft.

Digitized by Google

Wechselstrom-Methoden.

9. Erreger der Wechselströme.

Das Ziel ist, durch alternirende Ströme von entgegengesetzter Richtung und genau gleicher Elektricitätsmenge die Ansammlung von Ausscheidungen an den Elektroden zu vermeiden. Dies läfst sich allerdings durch Verbindung eines gewöhnlichen Batteriestromes mit einem rotirenden Kommutator erreichen, wenn die beiden Kontakte genau symmetrisch angeordnet werden (Edlund; Arrhenius 1. 1884). Jedoch ist diese Anordnung umständlich.

Einfacher und ganz von selbst genau ist die Anwendung von Induktionsströmen. Wenn nämlich das magnetische Feld eines Leiters periodische Änderungen durchläuft, so ist der Integralwert der in einer Richtung erzeugten elektromotorischen Kraft während einer vollen Periode stets gleich Null, d. h. man kann die Periode in Teile zerlegen, in denen genau gleiche Integrale elektromotorischer Kraft von entgegengesetzter Richtung erregt werden.

I. Induktor mit rotirendem Magnet. Sinusinduktor.

Die übersichtlichste Form dieses Induktoriums ist ein rotirender Magnet in einem ihn eng umschliefsenden feststehenden Multiplikator, am wirksamsten so angeordnet, dafs die Rotationsaxe in die Symmetrielinie der mittleren Windungsebene des Multiplikators fällt. Die beiden Stromteile entgegengesetzter Richtung liegen (abgesehen von der bei rascher Rotation eintretenden, durch die Selbstinduktion bewirkten Phasenverschiebung) zwischen den beiden Stellungen

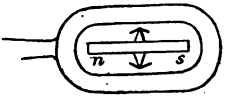

Fig. 19.

Digitized by Google

des Magnets, in denen die magnetische Axe auf den Windungsebenen senkrecht steht.

Der Verlauf einer Induktion während der halben Umdrehung hängt von den gegenseitigen Dimensionen des Multiplikators und des Magnets ab. Am einfachsten für Berechnungen ist die „harmonische" oder „Sinus"-Schwingung der elektromotorischen Kraft, wobei die letztere in jedem Augenblick dem Sinus des Winkels φ proportional ist, welchen die magnetische Axe mit der Axe des Multiplikators bildet. Solche Schwingungen finden stets statt, wenn die Länge des Magnets klein gegen seinen Abstand von den Windungen ist; allein die elektromotorische Kraft ist alsdann gering.

Genähert sinusförmige Schwingungen gibt aber auch ein Magnet in einem flachen, ihn eng umschliefsenden Multiplikator, wenn der letztere breit gegen die Länge des Magnets ist (Sinusinduktor, Kohlr. 2a. 1874).

Das magnetische Moment sei M, die ganze Umlaufszeit des Magnets T, und der Multiplikator habe, gleichmäfsig bewickelt, n Windungen auf der Längeneinheit seiner Breite. Die Zeit t werde von dem Augenblicke an gezählt, wo die magnetische Axe mit der Multiplikatoraxe zusammenfällt, also $\varphi = t \cdot 2\pi/T$. Dann ist die elektromotorische Kraft in [C-G-S]-Einheiten:

$$E = 4\pi n \cdot M \cdot \frac{2\pi}{T} \sin \frac{2\pi}{T} t.$$

Ihr Integral während einer halben Umdrehung ist also

$$\int_0^{\frac{1}{2}T} E\,dt = 4\pi n \cdot M \frac{2\pi}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} \sin \frac{2\pi}{T} t \cdot dt = 8\pi n M,$$

weil das Integral $= T/\pi$ ist. Division durch 10^8 gibt die el. Kraft in Volt.

Genau richtig sind die Formeln, wenn der Multiplikator unendlich breit ist, praktisch richtig, wenn er so breit ist, dafs die Induktion auf die an der unendlichen Breite fehlenden Windungen vernachlässigt werden kann.

II. Induktorium mit feststehendem Elektromagnet. Neeff'scher Hammer.

Dies ist die weitaus am meisten gebrauchte Stromquelle.

Auf einen schmiedeeisernen Kern (etwa 1 cm dick und 8 cm lang) sind zwei Rollen übereinander gewunden, die innere aus 200 Windungen eines $\frac{1}{2}$ mm dicken, die äufsere aus 1000 Windungen eines $\frac{1}{4}$ mm dicken Kupferdrahtes bestehend. Der Strom einer kleinen Batterie von etwa 1 oder 2 Daniell-

Digitized by Google

Elementen oder einem Akkumulator fließt durch die innere (primäre) Rolle und den Neeff'schen Selbstunterbrecher. Fig. 20 gibt den Horizontaldurchschnitt eines Apparates mit Federunter-

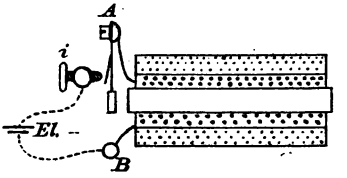

Fig. 20.

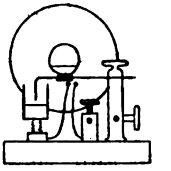

Fig. 21.

brecher, Fig. 21 die Seitenansicht eines solchen mit Quecksilberunterbrecher.

Durch das Schließen und das Öffnen des primären Stromes wird in der äußeren (Induktions-) Rolle je ein Induktionsstoß von entgegengesetzter Richtung und gleichem Integralwert erregt. Die beiden Stöße sind ihrem Verlauf nach ungleich, da der Öffnungsstrom rascher und deswegen intensiver verläuft. Die käuflichen kleinen Apparate, gewöhnlich zu ärztlichen Zwecken bestimmt, haben anstatt eines massiven Eisenkernes ein Bündel von Eisendrähten, wodurch die Ungleichheit beider Stöße noch vergrößert wird. Um dieselbe zu vermindern kann man in diesem Falle den gewöhnlich vorhandenen Dämpfer, eine Metallröhre über den Eisenkern schieben.

Auch ohne inducirte Rolle kann man den Neeff'schen Hammer benutzen, indem man von den Klemmen *A* und *B* der primären Rolle den Extrastrom abnimmt, wenn die den Strom erregende elektromotorische Kraft wie gewöhnlich so schwach ist, daß sie selbst kein Wasser zersetzt.

Unterbrecher. Findet die Stromunterbrechung zwischen einem Platinstift (eine Eisenspitze nutzt sich zu rasch ab und wird deswegen durch einen angelöteten Platinstift ersetzt) und Quecksilber statt, so gießt man auf das letztere eine Schicht destillirten Wassers. Die Quecksilberfläche ist öfters zu reinigen, das Wasser zu erneuern; Dauerspülung ist aber nicht notwendig. Solange nicht beobachtet wird, setze man den Induktor außer Thätigkeit. Man läßt gewöhnlich den positiven Strom vom Quecksilber zum Platin gehen.

Digitized by Google

Um das Geräusch des Selbstunterbrechers zu vermindern, sei erstens der Unterbrecher so regulirt, dafs er nicht an das anziehende Eisen anstöfst. Zweitens stellt man den Apparat auf eine weiche Unterlage, am besten zwei Stückchen Kautschukschlauch. Dann läfst sich bei einem Quecksilberunterbrecher ein so geräuschloser Gang erzielen, dafs man denselben aus 1 m Abstand kaum noch hört.

Gegen starkes Geräusch des gewöhnlichen Platinunterbrechers in Luft schützt sehr wirksam eine auf die schwingende Feder aufgelötete oder geschraubte schwächere Feder (mäfsig dünnes Platinblech, s. Fig. 20), die weicher an den Platinstift schlägt, als die Treibfeder es thun würde.

Ein Unterbrecher mit raschem Gang (hohem Ton) ist für die Empfindlichkeit vorteilhaft. Doch läfst ein solcher sich oftmals durch einen schwachen Strom nicht gut anregen. Durch Abschwächen der Treibfeder mittels Abfeilens oder Abschmirgelns wird der Gang leicht verlangsamt, indessen darf dies bei Beobachtungen mit dem Telephon nicht übertrieben werden.

Man mufs diese Verhältnisse ausprobiren und zuweilen einige Geduld anwenden, bis man durch die richtige Stellung der Regulirvorrichtungen an der Feder oder dem Quecksilbernapf die richtigen Verhältnisse erzielt.

Es kann nützlich sein, die Induktionsrolle aus mehreren Teilen anzufertigen, z. B. zwei gut isolirte Drähte mit einander aufzuwinden, die man einzeln oder vereinigt einschalten kann, um über eine schwächere oder stärkere Stromquelle zu verfügen.

Auch ein Schlittenapparat (du Bois-Reymond) kann zu dem letztgenannten Zweck Vorteile bieten.

III. Differentialinduktor.

Besteht die Induktionsrolle aus zwei gleichen, sorgfältig miteinander aufgewundenen Drähten, so dafs Widerstand und elektromotorische Kraft in beiden gleich sind, so lassen die beiden Ströme sich durch die beiden zu vergleichenden Widerstände entgegengesetzt so verzweigen, dafs ohne weiteren Zusatz eine Nullmethode entsteht (Elsas 1. 1888).

Digitized by Google

Mit einem konstanten Widerstandsgefäfs ist das Verfahren etwas umständlich, aber mit verschiebbaren Elektroden wird es sehr einfach; vgl. § 11, IX, S. 53.

IV. Saitenunterbrecher.

Ein horizontaler Stahldraht, dessen Schwingungszahl durch Anspannung regulirt wird, hat in der Nähe der Mitte einen angelöteten Platinansatz, entweder spitz, aus einem kurzen Draht bestehend, der in einen Quecksilbernapf taucht, oder abgerundet aus Draht oder aus einem Stückchen Blech und auf einem darunter befindlichen Platinkontakt lose aufliegend; oder endlich, der Draht besteht zu einem Teile selbst aus Platin, welches ein verstellbares abgerundetes Platinblech berührt. Die den primären Strom unterbrechenden Schwingungen werden durch den Pol eines kleinen Elektromagnets angeregt, der sich über der Mitte der Saite befindet und entweder den Draht selbst oder ein an ihm gut befestigtes Eisenstückchen magnetisirt.

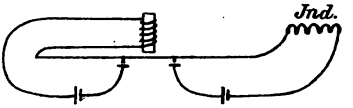

Fig. 22.

Die Unterbrechung des inducirenden Stromes kann mittels desselben oder mittels eines zweiten an dem schwingenden Drahte angebrachten Kontaktes erfolgen. Vgl. z. B. Melde 1884; M. Wien 1 u. 2. 1891; Nernst 5. 1894; Rubens 1895.

V. Funkenentladung mit sehr schnellen Schwingungen.

Die Zahlenangaben beziehen sich auf die in der Figur dargestellte Anordnung (Nernst 6. 1895).

An die eine Entladungselektrode eines Funkeninduktors ist eine Kupferdrahtspule (3 mm dicker Draht in 10 Windungen von 3 cm Durchmesser) angeschlossen, deren anderes Ende zu der einen Belegung eines Kondensators (Glasplatte 0,7 mm dick, beiderseitig mit 270 cm^2 Stanniol belegt) führt. Die andere Belegung ist mit der zweiten Funkenelektrode verbunden. Die bei den Entladungen in dieser Leitung entstehenden elektrischen Schwingungen von einigen Millionen in der Sekunde induciren eine über die obige Rolle isolirt geschobene Sekundärrolle (32 Windungen eines 0,8 mm dicken Kupferdrahtes).

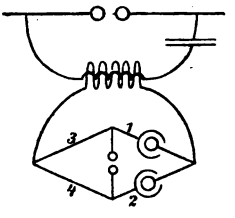

Fig. 23.

Digitized by Google

An die Pole der Sekundärrolle schliefst sich eine Art von „Brückenverzweigung" an. Die Zweige 1 und 2 bestehen aus kleinen Leidener Flaschen von 200 bis 400 cm Kapacität, 3 und 4 sind die zu vergleichenden Widerstände. Neben denselben befinden sich (nicht gezeichnete) kleine Luftkondensatoren, deren Kapacität durch Verstellen von Glasplatten in der Luftschicht geändert werden kann (vgl. Nernst 5. 1894), weil auch die Kapacitäten der Zweige ein bestimmtes Verhältnis haben müssen, damit die Beobachtung scharf ist.

In die Brücke ist eine sehr kurze Funkenstrecke zwischen Platinschneiden eingeschaltet. Sind die Kapacitäten in den Zweigen 1 und 2 gleich, so verschwinden die Funken, wenn die Widerstände in 3 und 4 gleich sind. Zu dem Zweck mufs mindestens einer dieser Widerstände verschiebbare Elektroden haben. Man stellt von beiden Seiten auf das beginnende Verschwinden der Funken ein und nimmt das Mittel aus den Stellungen. Die regulirbaren Kondensatoren neben 3 und 4 werden dabei so gestellt, dafs das Verschwinden der Funken möglichst scharf geschieht.

Dies Verfahren bedarf, um angewandt zu werden, noch der Ausbildung.

10. Beobachtungsmittel für Wechselströme.

I. Elektrodynamometer (Weber 1846).

Als der älteste hier gebrauchte Apparat mag dieses vorangestellt werden, wenn es auch nicht mehr oft benutzt wird.

Fig. 24.

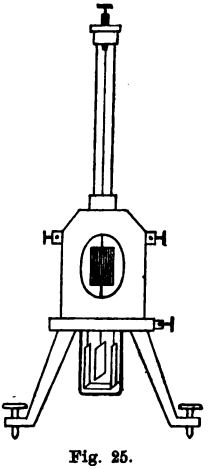

Fig. 25.

In der Form von Weber bestand das Dynamometer aus einer festen und einer dazu gekreuzten beweglichen Rolle mit Spiegel. Die letztere ist an zwei langen feinen Zuleitungsdrähten aufgehängt. Die Ablesung geschieht am Spiegel.

Andere Formen haben nur einen Aufhängedraht und nehmen die andere Zuleitung von unten. Diese kann für die Wechselströme aus einem platinirten Platinbleche innerhalb U-förmiger zweiter Elektrode bestehen, die sich beide in einer gut leitenden Flüssigkeit (Maximal-Schwefelsäure) befinden. Das bewegliche Blech ist ganz unterzutauchen (vgl. Kohlr. 9. 1882).

Digitized by Google

Über die in der Brücke geforderte Art der Schaltung des Instruments vgl. § 11, I.

Ein Torsionskopf läfst die bewegliche Rolle senkrecht zur festen stellen. Diese Stellung mufs genau erreicht werden. Man prüft sie, indem man durch die eine Rolle allein Wechselströme sendet, während man die andere kurz schliefst: es dürfen dann keine Ablenkungen eintreten.

Die Ausschlags-Empfindlichkeit steht mit der vierten Potenz der Dicke des Aufhängedrahtes im umgekehrten Verhältnis.

II. Das Bell'sche Hörtelephon.

Besondere Regeln für die Konstruktion des Telephons sind hier nicht zu geben. Ob ein Exemplar geeignet ist, d. h. ob es auf schwachen Strom hinreichend deutlich reagirt, mufs ausprobirt werden. Auf ein nicht selten vorkommendes Hindernis gegen das Ansprechen des Telephons mag hingewiesen werden, nämlich auf Eisenteilchen, die zwischen die schwingende Platte und den Magnet geraten und die durch Abwischen zu entfernen sind.

Als Widerstand (Windungszahl etc.) wird man im Allgemeinen eine mäfsige Gröfse (10 Ohm z. B.) zweckmäfsig finden, jedenfalls kleiner, als man aus den übrigen Widerständen der Verzweigung für das Maximum der Wirkung berechnet. Dies kommt daher, dafs in einem Leiter von so starker Selbstinduktion wie das Telephon, für Wechselströme kurzer Periode (vgl. auch § 12, V) als Widerstand nicht der Ohm'sche Widerstand, sondern ein gröfserer Wert mafsgebend ist.

Unter günstigen Umständen geht die Feinheit der Einstellung mit dem Telephon bis 1/100000 der Brückendrahtlänge.

Wesentlich ist ein leiser Gang des Induktor-Unterbrechers; trotzdem wird man das nicht gebrauchte Ohr zweckmäfsig mit Watte verstopfen. Viele werden ihre beiden Ohren recht verschieden empfindlich finden.

Für gewöhnlich drücke man das Telephon mit der Hand mäfsig fest an das Ohr. Kommen Verhältnisse, in denen man beide Hände frei zu haben wünscht, so kann man sich eines federnden Kopfhalters bedienen oder das Telephon mit einem

Digitized by Google

Bande befestigen. Im letzteren Fall ist die Dosenform vorzuziehen, sonst im Allgemeinen wohl die gestreckte.

Vollkommen zum Schweigen zu bringen ist das Telephon meistens nicht, sondern nur zu einem, einer bestimmten Einstellung entsprechenden Minimum der Tonstärke. Trotzdem stellt man, wenn das letztere nicht sehr verwaschen ist, mit einiger Übung scharf ein, dadurch dafs man die Mitte zwischen zwei Punkten links und rechts vom Minimum nimmt, in denen die Tonstärke gleich ist. In solchen Fällen beobachtet man meistens besser mit einem zu schwachen als mit einem zu starken Ton. Es kann sich deswegen eine Abschwächung des Stromes durch Einschalten eines Widerstandes empfehlen, am besten, wenn nämlich das Ansprechen des Unterbrechers dies gestattet, in die primäre Leitung des Induktors; sonst in die sekundäre Leitung zwischen den Schleifkontakt und den einen Induktorpol, wobei mehrere Tausend Ohm zweckmäfsig sein können. Der grofse Widerstand in der sekundären Leitung bewirkt freilich zuweilen eine andere Störung des guten Minimums, nämlich durch statische Ladungen des Telephons und der Brücke. Man beseitigt dies durch Ableiten des anderen Induktorpols nach der Gasleitung.

Über Fehlerquellen bei den Messungen vgl. §. 12.

III. Optisches Telephon (M. Wien 1 u. 2. 1891).

Eine gewellte Membran aus Neusilber oder Messing mit Eisenplättchen ist zwischen zwei hufeisenförmigen Telephonmagneten ausgespannt, die wie bei dem Hörtelephon von permanenten Magneten mit kleinen Elektromagneten gebildet werden. Werden diese erregt, so gerät die Membran in Schwingungen, die durch einen Stift auf eine an ihrem einen Ende eingespannte Feder übertragen werden. Das freie Ende der Feder trägt einen Spiegel, in welchem man das Bild eines feinen beleuchteten Spaltes beobachtet, das bei der Bewegung in ein mehr oder weniger breites Band übergeht. Bei Hintereinanderschaltung aller vier Elektromagnete erhält man für 5×10^{-8} Ampere einen noch merklichen Ausschlag.

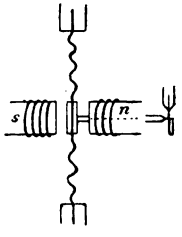

Fig. 26.

Digitized by Google

Im Gegensatz zum Hörtelephon spricht das optische Telephon wesentlich nur auf eine mit dem Eigenton der Membran übereinstimmende Schwingungszahl an. Will man daher mit verschiedenen Schwingungszahlen arbeiten, so mufs das Instrument stets neu eingestimmt werden. Für diesen Zweck ist einmal jeder Apparat mit vier auswechselbaren Membranen von der Schwingungszahl 64, 128, 256, 512 ausgestattet. Sodann lassen sich bei jeder Membran kleinere Änderungen dadurch hervorbringen, dafs man die aufgeschraubten Eisenplatten variirt oder die Dämpfung durch Verstellung der Telephonmagnete ändert. Endlich kann man noch den Eigenton der Feder, der im Allgemeinen mit dem der Membran im Einklang sein soll, in engen Grenzen verstimmen, ohne dadurch die Empfindlichkeit des Systems zu schwächen.

Obertöne, welche so stark sind, dafs man bei der Nulleinstellung kein scharfes Bild mehr bekommt, kann man durch folgende Mittel vermindern: 1) Die Unterbrechung des Stroms geschieht durch amalgamirte Kupferdrähte an Quecksilber. 2) Man legt einen Nebenschlufs zu der Unterbrechungsstelle. 3) In den sekundären Kreis wird eine Induktionsrolle mit Eisenkern eingeschaltet. 4) Man schaltet parallel zu dem optischen Telephon einen induktionsfreien Widerstand oder einen Kondensator von einigen Mikrofarad. 5) Man kompensirt die Selbstinduktion des optischen Telephons durch eine passende nebengeschaltete Kapacität.

Das Vibrationsgalvanometer (Rubens 1895) benutzt die Torsionsschwingungen einer gespannten Saite, deren Eigenton durch verschiedene Länge oder Dicke variirt wird. Die Erregung der Saite geschieht durch kleine Eisenstäbchen, die nach Art der Thomson'schen Galvanometermagnete an der Saite in der Nähe von vier über Kreuz angebrachten Telephonmagnetpolen befestigt sind. Die Beobachtungsart ist dieselbe wie bei dem optischen Telephon.

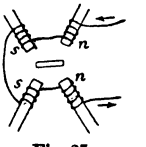

Fig. 27.

Bei beiden Instrumenten benutzt man zur Erzeugung der Wechselströme einen Saitenunterbrecher (§ 6, IV), dessen Schwingungszahl durch eine Spannvorrichtung oder durch die Verschiebung von Stegen geändert werden kann. Im Gegensatz zum Neeff'schen Hammer

Digitized by Google

hat man bei dem Saitenunterbrecher zwei Unterbrechungsstellen entsprechend den zwei Stromkreisen, von denen der eine zum Antrieb der Saite, der andere als primärer Kreis des Induktoriums dient. Man kann Platin- und Quecksilberkontakte verwenden. Erstere sollen noch Schwingungszahlen bis zu 2000 und 3000 liefern, haben aber den Nachteil, dafs sie bei tieferen Tönen das Auftreten der Obertöne begünstigen.

11. Schaltungen bei der Widerstandsbestimmung.

I. Wheatstone'sche Brücke. Allgemeines.

Zur Widerstandsbestimmung mit Wechselstrom dient stets eine Nullmethode, meistens mittels der Wheatstone'schen Brücke (1843).

P sei die Stromquelle (Induktionsrolle bei Wechselstrom), Q der Stromprüfer (Telephon, Rolle des Dynamometers, Vibrationsgalvanometer), durch den man erkennen kann, ob der Strom

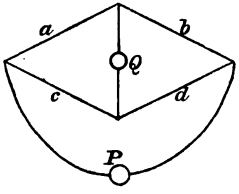

Fig. 28.

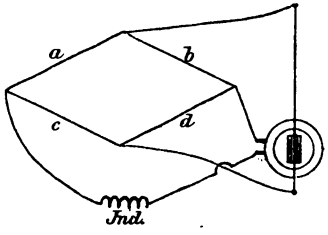

Fig. 29.

in der „Brücke" verschwindet. Die Zweige a, b, c, d bedeuten Widerstände, in denen sich keine elektromotorische Kraft (etwa Polarisation, bei Wechselströmen auch keine Selbstinduktion oder Kapacität, vgl. § 12 II) befinden soll.

Wenn der Strom in der Brücke gleich Null ist, so zeigt dies die Proportion an

$$a : b = c : d.$$

Wegen der Symmetrie der Verzweigungen können in der Figur Stromquelle und Stromprüfer auch miteinander vertauscht werden.

Schaltung des Dynamometers. Während Telephon oder Vibrationsgalvanometer einfach als Ganzes in die Brücke geschaltet werden,

Digitized by Google

ist dies bei dem Dynamometer unstatthaft. Denn in der Nähe des Stromes Null wird dieses Instrument unempfindlich. Hier darf in die Brücke nur die eine der Rollen (gewöhnlich die bewegliche Rolle) geschaltet werden, während die andere in den Zweig der Stromquelle kommt, also stets den vollen Strom behält (Kohlr. 1. 1871; K. u. Grotrian 1875). Dann verhalten sich die Ausschläge so, wie bei einem gewöhnlichen Galvanometer mit konstantem Strom. Diese Schaltung ist in Fig. 29 dargestellt.

Das Bellati'sche Dynamometer mufs mit seiner einzigen Rolle in die Brücke geschaltet werden. Eine hohe Empfindlichkeit wird vorausgesetzt, damit man es anwenden kann; unangenehm bleibt, dafs man nicht an der Richtung des Ausschlages erkennt, ob der Vergleichswiderstand zu grofs oder zu klein ist, weil der Ausschlag stets nach derselben Seite erfolgt.

II. Brücke mit gleichen Widerstandspaaren.

Die Zweige Z und Z' seien von gleichem Widerstande. W sei der zu bestimmende Widerstand und R ein Rheostat. Man zieht in dem letzteren so viel Widerstand R, dafs der Strom in der Brücke verschwindet; alsdann ist

$$W = R.$$

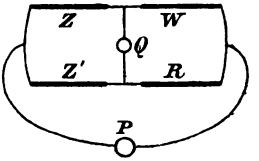

Fig. 30.

Bei der Bestimmung elektrolytischer Widerstände werden für Z und Z' meistens zwei Rollen von je 20 bis 100 Ohm passende Verzweigungswiderstände sein. Es ist, verschiedener Störungen halber, bei Wechselstrom gut, wenn beide nicht nur von gleichem Widerstandswert, sondern auch von gleicher Gestalt sind, etwa zwei Rollen von gleichen Dimensionen und mit gleicher Drahtsorte bewickelt.

Die vorausgesetzte Gleichheit der Verzweigungen Z und Z' prüft man dadurch, dafs diese beiden gegen die anderen Zweige W und R vertauscht werden. Ergibt sich nachher dasselbe R wie vorher, so besteht Gleichheit. Findet man dagegen vor und nach der Vertauschung die beiden Werte R_1 und R_2, die den Brückenstrom zum Verschwinden bringen, so hat man W gleich dem Mittel aus R_1 und R_2 zu setzen. Streng ist hier das geometrische Mittel $\sqrt{R_1 R_2}$ zu nehmen. So gut wie immer kann man hierfür aber das arithmetische Mittel, also

$$W = \tfrac{1}{2}(R_1 + R_2)$$

setzen, denn selbst wenn die Ungleichheit von R_1 gegen R_2 4 Procent betrüge, so bringt diese Rechnung nur $\frac{1}{50}$ Procent Fehler.

Digitized by Google

Eine solche Umschaltung fördert stets die Genauigkeit, für den Zweck der Elimination einer Ungleichheit ist sie principiell aber nur einmal notwendig. Denn aus einem, z. B. dem obigen Beispiel findet sich das Verhältnis

$$Z : Z' = \sqrt{R_2 : R_1} \quad \text{oder nahe} = 1 + \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1}.$$

Bezeichnet man dieses so einmal bestimmte Verhältnis $Z : Z'$ durch $\mathfrak{R}$, so kann man hinterher immer einen Widerstand W, der in der Verzweigung der Figur scheinbar den Wert R hatte, setzen

$$W = \mathfrak{R} \cdot R.$$

$\mathfrak{R}$ unterscheidet sich wenig von Eins, sodafs die Rechnung mühelos ist. Man denkt sich $\mathfrak{R} = 1 + \delta$ (wo δ den Wert $\frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1}$ hat), dann ist

$$W = R + R \cdot \delta.$$

Interpolation. Ein Rheostatenwiderstand läfst sich nur sprungweise ändern, sodafs der genaue Wert R im Allgemeinen nicht herzustellen ist. Man interpolirt denselben dann aus zwei genähert richtigen Werten, am besten aus einem etwas zu kleinen und einem etwas zu grofsen. Die Nullstellung des Dynamometers sei bei e, und zwei Widerstände R' und R'' des Rheostaten mögen die Einstellungen e' und e'' geben. Dann ist der richtige Wert R

$$R = R' + (e - e') \frac{R'' - R'}{e'' - e'}.$$

So kann man freilich mit dem Telephon oder dem Vibrationsgalvanometer einen konstanten Widerstand nicht gut bestimmen, denn der Tonstärke oder dem Ausschlage merkt man hier nicht an, ob R zu grofs oder zu klein ist, sodafs das Ausprobiren selbst in dem Falle, dafs der Rheostat den gesuchten Widerstand enthält, umständlich wird.

Diese Schwierigkeit fällt bei den Widerstandsgefäfsen mit verschiebbarer Elektrode (§ 6, IV) fort. Man vergleicht mit

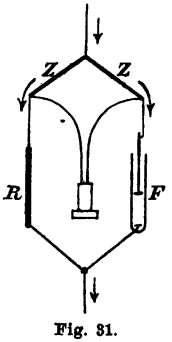

Fig. 31.

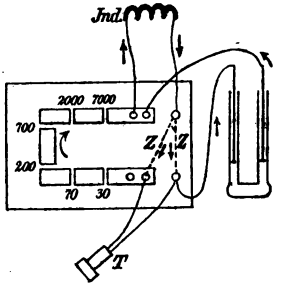

Fig. 31a.

einem Rheostatenwiderstande R von geeigneter runder Gröfse und sucht das Tonminimum durch Verstellen der Elektrode; man liest also diejenige Kapacität C ab, bei welcher die vorliegende

Digitized by Google

Flüssigkeit den Rheostatenwiderstand R hat, und bekommt wie immer $\varkappa = C/R$. Das Schema der Verbindungen mit den gleichen Verzweigungswiderständen Z, Z zeigt Figur 31. In Wirklichkeit wird man einen Apparat, der nur diesen Zwecken dienen soll, etwa wie Fig. 31a anordnen. In einem Kästchen befinden sich die Verzweigungswiderstände Z, etwa je 50 oder 100 Ohm, beide an die Verzweigungsklemme angeschlossen, an die der eine Pol des Induktoriums angelegt wird. Der andere Pol ist mit dem (vereinfachten, s. § 7) Rheostaten verbunden; an dieselbe Klemme des Rheostaten ist die eine Elektrode des U-Gefäfses angehängt. Die Enden der Verzweigungswiderstände sind erstens mit den anderen Enden des Rheostaten- und des Flüssigkeitswiderstandes verbunden und zweitens mit dem Telephon. An dem letzteren gehen die beiden Zweigströme nur dann wirkungslos, d. h. ohne ihm Strom abzugeben vorüber, wenn man die Elektroden des U-Gefäfses so stellt, dafs der Flüssigkeitswiderstand dem in R gezogenen gleich ist. Vgl. Fig. 44 S. 53.

Sind ungewöhnlich grofse oder kleine Widerstände zu messen, so wählt man anstatt der beiden gleichen Verzweigungswiderstände solche, die sich wie 1 : 10 oder 1 : 100 etc. verhalten und multiplicirt bez. dividirt die Rheostatenwiderstände mit 10, 100 etc. Vgl. auch § 7.

III. Brücke mit Flüssigkeits-Rheostaten (Nernst 5. 1894).

Die Brückenverzweigung hat vier, paarweise gleiche Glasröhren mit Elektroden, gefüllt mit einer Lösung, deren Leitvermögen von der Temperatur sehr wenig beeinflufst wird (121 gr Mannit und 41 gr Borsäure mit 0,06 gr Chlorkalium in Wasser zu 1 Liter gelöst; Leitvermögen bei 18^0 ungefähr $\varkappa = 0{,}00097$). Die Zuleitung des Stromes zu den Verzweigungsröhren kann (Fig. 32) durch ein kommunicirendes Mittelrohr geschehen. Eine von den unteren Röhren mufs eine mefsbar verschiebbare Elektrode haben und der Widerstand, welcher diesen Ver-

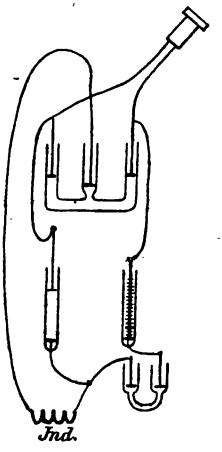

Fig. 32.

Digitized by Google

schiebungen entspricht, ist anderweitig ermittelt. Dieser Röhre wird der zu messende Widerstand x vorgeschaltet. Man stellt auf das Schweigen des Telephons ein. Dann wird der zu messende Widerstand ausgeschaltet. Damit das Telephon wieder schweigt, mufs man die Elektrode um eine Strecke verschieben; die dieser entsprechende Widerstandsänderung ist gleich x.

Man kann x auch dem Mefsrohre nebenschalten. Sind dann w_0 und w die ohne und mit Nebenschaltung zum Verschwinden des Tones nötigen Widerstände des Mefsrohres, so ist $x = \frac{w_0 w}{w - w_0}$ (vgl. M. Maltby 1895).

Durch die Symmetrie des Aufbaues werden bei dieser Anordnung manche sonstige Quellen für ein schlechtes Ton-Minimum vermindert, insbesondere lassen grofse Widerstände sich leichter messen, wenn man die unsymmetrischen Kapacitäten nötigenfalls durch einen kleinen Kondensator kompensirt (§ 12, III).

IV. Brücke mit Draht und Schleifkontakt (Kirchhoff 1857).

$a\,b$ ist ein gleichmäfsig dicker Draht aus einer Legirung, deren Widerstand von der Temperatur wenig beeinflufst wird (Neusilber, Nickelin, am besten Konstantan oder in chemischen Laboratorien Platiniridium). Auf demselben ist über einer Längenteilung ein Schleifkontakt, etwa eine Schneide oder ein Röllchen verschiebbar, von welchem aus eine Leitung nach P_2 und von da zwischen die zu vergleichenden Widerstände W und R geführt ist, die mit den Enden des Mefsdrahtes verbunden sind.

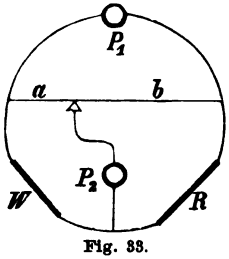

Fig. 33.

Ist P_2 der Stromprüfer, so stellt P_1 die Stromquelle vor. Im allgemeinen jedoch ist es besser, die Stromquelle an den Schleifkontakt, also in P_2 zu legen.

Denn der Übergang vom Kontakt findet, besonders während man den letzteren verschiebt, wegen wechselnden Übergangswiderstandes nicht gleichmäfsig statt. Besonders merklich ist dies bei der zur Messung dienenden Stellung, falls der Mefszweig der Brücke am Schleifkontakt

Digitized by Google

liegt. Denn dann besteht an der Übergangsstelle eine geringe Spannung, für welche kleine Hindernisse schon eine Isolation bedeuten. Dies äufsert sich in sehr unbequemer Weise darin, dafs das Galvanometer zeitweilig keinen Ausschlag zeigt oder dafs das Telephon schweigt, während der Kontakt seiner richtigen Stelle nur angenähert ist, bez. darin, dafs der Telephonton bei dem Verschieben des Kontaktes kratzt.

Diese Unbequemlichkeit beim Beobachten wird sehr vermindert, wenn die Stromquelle am Schleifkontakt liegt, der alsdann immer volle Spannung bekommt und sicherer arbeitet. Bei der Messung sehr grofser Widerstände wird die andere Verbindung aufserdem oft unempfindlich.

Man verschiebt den Kontakt, bis der Stromprüfer (Galvanometer, Dynamometer, Telephon) den Strom Null in der Brücke anzeigt, dann ist

$$W : R = a : b.$$

Wir setzen der Gewohnheit entsprechend voraus, dafs der Mefsdraht in 1000 Teile geteilt sei. Verschwindet alsdann der Strom bei der Einstellung des Schleifkontaktes auf dem Teilstrich a, so hat man also

$$W : R = a : (1000 - a).$$

Zweckmäfsige Tabellen von Obach (München 1879), die bei häufigem Gebrauch der Brücke fast unentbehrlich genannt werden dürfen, geben zu jedem Werte von a gleich das Verhältnis $a : (1000 - a)$ und den Logarithmus desselben.

Gestreckter Brückendraht.

Die einfachste Form der Brücke ist der gespannte Draht aus Neusilber, Konstantan oder Nickelin, etwa $\frac{1}{5}$ mm dick, über einem kräftigen, in mm geteilten Meterstabe mit Doppelklemmen an jedem Ende; Fig. 34 f. S. Das eine Ende ist mit dem zu messenden Flüssigkeitswiderstande F verbunden, das andere mit dem Rheostaten R. Zwischen die beiden letzteren mündet der eine Pol des Induktoriums, während der andere mit dem Schleifkontakt C verbunden ist. Das Telephon sitzt dann an den Drahtenden. Man kann statt dessen auch den Induktionsapparat mit diesen Enden verbinden und das Telephon mit C und R, im Allgemeinen aber ist die Verbindung der Figur vorzuziehen (vgl. die obige Bemerkung).

Die Enden des Mefsdrahtes sind zwischen Messingbacken so geklemmt, dafs der Draht von den vorderen Kanten der

Digitized by Google

Backen gedrückt wird; zu dem Zweck ist je eine der Backen ein wenig hohl gefeilt; Fig. 34a. Das Einfeilen einer Nut auf der

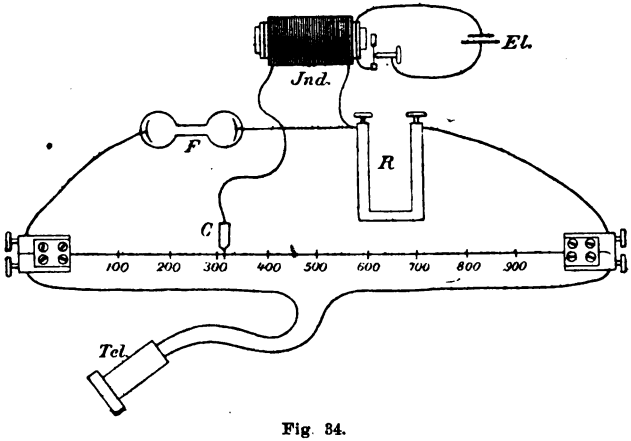

Fig. 34.

nach dem Maſsstabe gerichteten Seite ist zu vermeiden. Über die Orientirung der Enden über der Teilung vgl. noch S. 50.

Bei dem Schleifkontakt ist zu beachten 1) daſs er einen gut bestimmten Punkt des Meſsdrahtes berührt, daſs er also eine Kante bildet, die aber, um den Draht nicht zu verletzen, ein wenig gerundet sein und nur aus einem mittelharten Metall

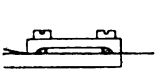

Fig. 34a.

Fig. 34b.

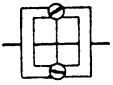

Fig. 34c.

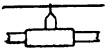

Fig. 34d.

bestehen soll (Messing, Neusilber, Platin). 2) Man muſs den Ort gut ablesen können. Ist die Schneide an einem Holzschlitten befestigt, so soll also die äuſsere Fläche gerade hinunter gehen (Fig. 34b). Auch ein Stückchen gespannten Drahtes unter einem durchbrochenen, über dem Meſsdraht hohl gebogenen oder gefeilten Metallschlitten, durch welchen hindurch man die Stellung abliest, kann gebraucht werden (Fig. 34c). 3) Der Kontakt soll dicht bis an beide Drahtenden geschoben werden können; der Schlitten muſs deswegen unten passend ausgehöhlt sein. 4) Der Schlitten erhält eine Führung durch eine an seinem Rande vorspringende Kante.

Die biegsame Verbindung zum Schlitten geschieht durch

Digitized by Google

ein dünnes Kabel, welches man z. B. aus den käuflichen Doppelschnüren für elektrische Klingeln herauslösen kann. Bequemer, freilich umständlicher herzustellen ist es, den Kontakt auf einer dem Meſsdrahte parallel laufenden Metallschiene zu führen, an welche man die Verbindung fest anlegt (Fig. 34d).

Bei geringerem Anspruch an Genauigkeit läſst sich die Teilung unter dem Draht so einrichten und beziffern, daſs an dem Einstellungspunkt gleich das Verhältnis *a/b* abgelesen wird, wobei also in der Mitte die Zahl 1, in Eindrittel vom Anfang die Zahl 0,5, in Zweidrittel die Zahl 2 steht u. s. w. So ist die kleine Universalbrücke aus der Werk-

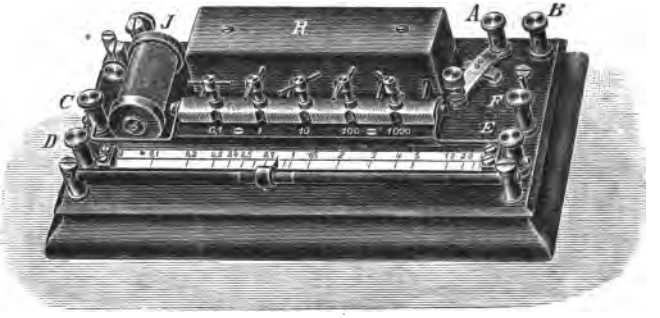

Fig. 35.

stätte von Hartmann & Braun (Kohlr. 10. 1883) geteilt, die neben dem Meſsdraht den Induktor *J* und einige Vergleichswiderstände *R* enthält. An die Klemmen *A*, *B* kommt das erregende Element, an *C*, *D* der zu messende Widerstand, an *D* und *E* das Telephon etc. (vgl. aber unten). Um für Messungen mit Gleichstrom gebraucht zu werden ist der Apparat nach Umschlagen des Hebels an *A* geeignet; an *D* und *E* wird in diesem Falle ein Galvanometer angelegt. Die Telephon- oder Galvanometer-Leitungen an *D* und *E* selbst so weit auseinander zu legen ist nicht bequem. Deswegen wird wohl noch eine Verbindung von *D* zu einer neben *E* liegenden Klemme geführt, so daſs die beiden Ableitungen dicht zusammen liegen. An älteren Apparaten ist die Anordnung teilweise eine etwas andere.

Walzenbrücke.

Das Verschieben und gleichzeitige Ablesen des Kontaktes an einem meterlangen Draht zugleich mit der Beobachtung des Stromprüfers ist unbequem, die Ablesung des Schleifkontaktes auf der mm-Teilung zudem wenig genau. Mit vergröſserter Drahtlänge wächst die Genauigkeit, über 1 m hinaus aber wird der gestreckte Draht ganz unhandlich. Genauer und viel bequemer ist (Fig. 36 u. 37) ein auf eine drehbare Walze aus

Digitized by Google

Marmor, Hartkautschuk etc. in 10 Windungen aufgewundener Meſsdraht (Kohlr. 9. 1880; 20. 1895).

Von den Metallplättchen, welche die Drahtenden klemmen, geht je eine Verbindung nach den beiden, voneinander isolirten Drehungsaxen

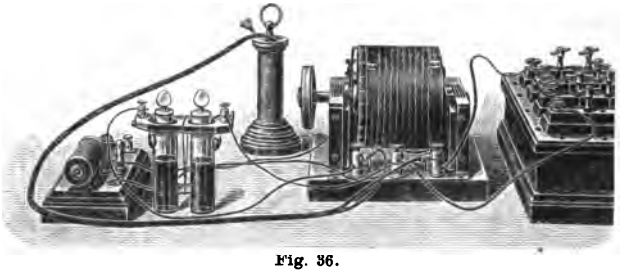

Fig. 36.

der Walze. Auf den Axen schleift je ein Bürstenkontakt aus einem Dutzend harter, federnder Drähte. Die Reibung wird durch einen Tropfen Petroleum, womit man auch von Zeit zu Zeit die Axen zu reinigen hat, vermindert.

Ein auf dem Draht in konstanter Höhe laufendes Röllchen bildet den beweglichen Kontakt. Seine Stellung auf dem Draht (die oben *a*

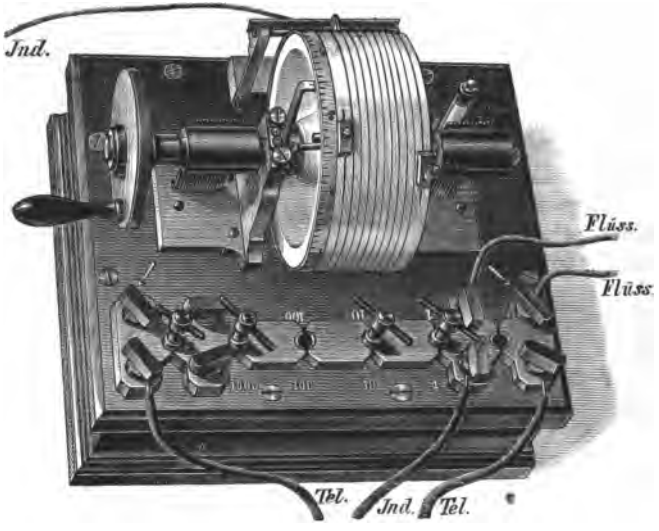

Fig. 37.

genannte Gröſse) wird in ihren Hundertern an einer Teilung unter der Kontaktrolle, in den Zehnern und Einern an einem festen Index abgelesen, vor welchem der in 100 Teile geteilte Rand der Walze sich vorbeibewegt.

Digitized by Google

Der Index ist so gestellt, bez. ist zu diesem Zweck etwas verstellbar gemacht, dafs er auf dem Striche Null steht, wenn die Kontaktrolle einen Punkt der Verbindungslinie zwischen den Enden des Drahtes berührt. Nach längerem Gebrauch pflegt das Röllchen durch abgeriebenen Metallstaub starke Reibung auf seiner Axe zu bekommen. Man hat es dann von der Stange abzunehmen und die letztere sowie die Bohrung des Röllchens mit einem Läppchen zu reinigen, aber nicht etwa zu schmieren.

Die Verbindung der Walzenbrücke mit dem Widerstandsgefäfs, einem Rheostaten, dem Telephon und dem Induktionsapparat (dessen erregendes Element weggelassen und welcher selbst weiter entfernt aufzustellen ist) zeigt Figur 36. Ausgeführt ist die Walzenbrücke zuerst von Hartmann & Braun; eine einfache Form auch von Keiser & Schmidt.

In dem Fufs der Walze können zur Bequemlichkeit die Vergleichswiderstände angebracht sein, etwa 1, 10, 100, 1000 und 10000 Ohm. Die Gestalt wird dann die von Fig. 37, worin auch die erforderlichen Aufsenverbindungen angedeutet sind. Anstatt „Flüssigkeit", „Induktorium" und „Telephon" ist bei Messungen mit Gleichstrom zu setzen „zu bestimmender Widerstand", „Element" und „Galvanometer".

V. Genauigkeit der Brücke und Vorschaltung von Widerständen vor den Brückendraht.

Die Genauigkeit der Widerstandsmessung mit der Brücke ist in der Nähe der Mitte des Mefsdrahtes am gröfsten. Es entspricht nämlich einem Einstellungsfehler von $^1/_{10}$ Teilstrich bei dem Strich

	10	50	100	200	300	400	500
oder	990	950	900	800	700	600	

ein relativer Fehler des gemessenen Widerstandes von

$$\frac{1}{99} \quad \frac{1}{470} \quad \frac{1}{900} \quad \frac{1}{1600} \quad \frac{1}{2100} \quad \frac{1}{2400} \quad \frac{1}{2500}.$$

Verfügt man über beliebige Vergleichswiderstände, so kann man sich, falls nicht die zu messenden Widerstände zu grofs sind, der Mitte nahe halten.

Durch Vorschalten von Widerständen, deren Verhältnis zu demjenigen des Drahtes bekannt ist, kann die Genauigkeit der Beobachtung an einer Brücke beliebig erhöht werden. Der Draht sei wieder in 1000 Teile geteilt; er habe den Widerstand R und es sei R_1 dem Ende I, R_2 dem Ende II vorgeschaltet; die Ablesung des Schleifkontaktes heifse jetzt A. An Stelle von $a : b$ oder $a : (1000 - a)$ tritt dann

$$\left(R_1 + R \cdot \frac{A}{1000}\right) : \left(R_2 + R \cdot \frac{1000 - A}{1000}\right)$$

oder

$$\left(1000 \frac{R_1}{R} + A\right) : \left(1000 \frac{R_2}{R} + 1000 - A\right).$$

Den meisten Bedürfnissen wird genügt, wenn man zwei Wider-

Digitized by Google

stände je gleich $4{,}5 \cdot R$ besitzt. Schaltet man dieselben dem Brückendrahte beiderseitig an, so wird das Verhältnis $a : (1000 - a)$

$$(4500 + A) : (4500 + 1000 - A) \quad \text{oder} \quad \left(450 + \frac{A}{10}\right) : \left(1000 - \left(450 + \frac{A}{10}\right)\right).$$

Man nimmt also für a einfach $450 + \frac{A}{10}$ und kann dann die Obach'sche Tabelle anwenden.

Ist die Einstellung auf $\pm$ 0,1 Teilstrich richtig, so beträgt der relative Fehler des gefundenen Widerstandes hier $\pm$ 1/25000.

Allerdings kann man diese Kombination nur gebrauchen, wenn die zu vergleichenden Widerstände nicht die Ungleichheit 9 : 11 übersteigen; gerade bei wenig verschiedenen Widerständen aber wird auch oft gröfsere Genauigkeit verlangt.

Übersteigt andrerseits die Ungleichheit der Widerstände das Verhältnis 9 : 1, wobei der Fehler des gewöhnlichen Brückendrahtes unzulässig grofs werden kann (vor. S.), so verzehnfacht man die Genauigkeit, indem man beide Widerstände $4{,}5\ R$, zusammen also $9\ R$, dem Brückendraht auf der Seite des gröfseren Widerstandes vorschaltet. Angenommen, der kleine Widerstand sitze an dem Null-Ende der Brücke, so ist

$$w_a : w_b = A : (10000 - A) \quad \text{oder} = \frac{A}{10} : \left(1000 - \frac{A}{10}\right).$$

Man hat also mit $\frac{1}{10} A$ in die Obach'schen Tabellen einzugehen.

Sitzt umgekehrt der grofse Widerstand an dem Nullende, so ist

$$w_a : w_b = (9000 + A) : (1000 - A) \quad \text{oder} = \left(900 + \frac{A}{10}\right) : \left(1000 - \left(900 + \frac{A}{10}\right)\right).$$

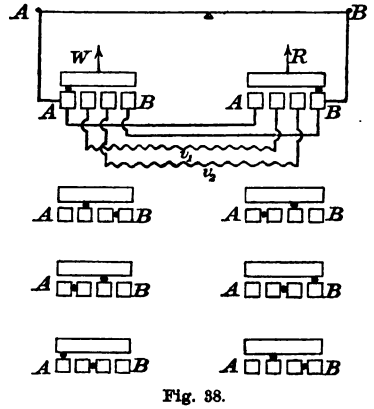

Fig. 38.

$900 + \frac{1}{10} A$ ist also jetzt die Gröfse, mit welcher man anstatt mit a in die Obach'sche Tabelle einzugehen hat.

Fig. 38 zeigt schematisch die Anschaltung zweier zu vergleichender Widerstände W und R an den Brückendraht AB mittels eines Umschalters, der durch verschiedenes Stöpseln alle möglichen Verbindungen herzustellen erlaubt (in der Ausführung von Hartmann u. Braun an der Walzenbrücke). Von den vier Einzelklötzen sind, sowohl links wie rechts, je die beiden äufsersten, da sie durch starke (widerstandsfreie) Kupferdrähte mit den Enden A und B des Mefsdrahtes verbunden sind, wie diese Enden selbst anzusehen und daher ebenfalls mit A und B bezeichnet. Zwischen je einem Paar von gleichgelegenen Klötzen sitzen die

Digitized by Google

beiden Vorschaltwiderstände v_1 und v_2, jeder 4,5 mal so grofs als der Widerstand des Mefsdrahtes.

Die Stöpselung 1 verbindet W und R kurz mit dem Brückendraht; 2 schaltet v_1 und v_2 beiderseitig vor; 3 bez. 4 schaltet die Summe $v_1 + v_2$ zwischen W bez. R und den Brückendraht. In allen Fällen ist hier das Drahtende A auf der Seite von W. Um die umgekehrte Verbindung zu haben sind beiderseits die Stöpselungen nur gegen die Mittellinie der einzelnen Klotzgruppe symmetrisch zu vertauschen. Für häufige genaue Messungen ist eine solche Anordnung sehr bequem.

(Über eine nur äufserlich andere Anordnung und eine dergl. einfachere, die sich leicht an jeder Brücke anbringen läfst, vgl. Kohlr. 20. 1895.)

VI. Kalibrirung eines Brückendrahtes.

Die Voraussetzung, dafs gleiche Längen des Drahtes gleiche Widerstände haben, ist bei einem sorgfältig gezogenen Draht wohl sehr annähernd erfüllt, aber doch nicht vollkommen. Aufserdem kommen die Übergangswiderstände von den Anschlufspunkten der Widerstände bis zum Endpunkt der Teilung als Fehlerquelle herein. Man vergleicht die Widerstände der einzelnen Strecken (man kalibrirt den Draht) folgendermafsen.

Kalibrirung mit wandernden Drahtstücken (Strouhal und Barus 1880).

Man schneidet aus einem Neusilber- oder Manganin- oder Konstantan-Drahte, der im Allgemeinen eher etwas gröfser als kleiner sein mag wie der Brückendraht, eine Anzahl n, etwa fünf (Fig. 39) oder besser zehn gleicher Stücke, verlötet ihre Enden mit Kupferbügeln und amalgamirt die letzteren. $n + 1$ [sechs] Quecksilbernäpfe lassen die n [fünf] Widerstände in beliebiger Reihenfolge neben die n Teilstrecken des Brückendrahtes schalten, dessen Enden mit den äufsersten Näpfen widerstandsfrei verbunden seien, nämlich durch so dicke und kurze amalgamirte Kupferdrähte, dafs deren Widerstand gegen den Widerstand der Drahtabschnitte nicht in Betracht kommt. Man kann auch statt $n + 1$ [sechs] etwa nur $n - 1$ [vier] Quecksilbernäpfe nehmen und die beiden äufseren

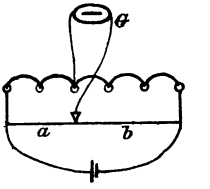

Fig. 39.

Digitized by Google

Widerstände direkt mit den Klemmen verbinden, welche die Enden des Brückendrahtes bilden.

Die Endklemmen sind mit den Polen eines galvanischen Elementes [oder Induktoriums] verbunden; G ist ein Galvanometer [oder Telephon]. Element und Galvanometer können auch ausgetauscht werden.

Einer von den n Widerständen werde von den übrigen unterschieden und heifse M; mit ihm sollen n Strecken des Brückendrahtes, also in der Figur 0 bis 200, 200 bis 400 etc., verglichen werden. Dieselben seien mit $r_1\ r_2 \ldots r_n$ ihrer Reihenfolge nach bezeichnet. Die Länge der Strecken $1000/n$ heifse a, also für die Figur ist $a = 200$. Die Quecksilbernäpfe heifsen Nr. 0 bis 5.

Man schalte M neben r_1, verbinde G mit dem Napf 1 und stelle auf das Verschwinden des Stromes in der Brücke ein (vgl. oben unter IV). Diese Einstellung falle auf $a + \Delta_1$ (d. h. in der Figur auf den Sollwert $200 + \Delta_1$).

Man vertausche nun das Stück M mit dem nächsten und finde, wenn G noch an Nr. 1 sitzt, die Einstellung $a + \delta_2'$, wenn man dann aber G mit Nr. 2 verbindet, $2a + \delta_2''$ [also in dem Beispiel $200 + \delta_2'$ bez. $400 + \delta_2''$]. Wir setzen $\delta_2'' - \delta_2' = \Delta_2$.

Abermals wird nun M mit dem nächsten Stück vertauscht, so dafs M jetzt neben r_3 liegt, und mit Ableitung an Nr. 2 und dann an Nr. 3 eingestellt. Man finde die Einstellungen $2a + \delta_3'$ bez. $3a + \delta_3''$ und setze $\delta_3'' - \delta_3' = \Delta_3$.

So wird fortgefahren bis zu der letzten Strecke r_n [d. h. r_5 in dem Beispiel], wobei die Ableitung an dem Napf Nr. $(n-1)$ [Nr. 4] die Einstellung $(n-1)a + \delta_n'$ $[400 + \delta_5']$ verlange. Es sei $-\delta_n' = \Delta_n$.

Nach den Versuchen haben offenbar die Strecken

$$r_1 + \Delta_1, \quad r_2 + \Delta_2, \quad \ldots r_n + \Delta_n$$

alle denselben Widerstand, der r heifsen möge. Der Gesamtwiderstand R des Brückendrahtes ist

$$R = r_1 + r_2 + \cdots + r_n = n \cdot r - \Delta_1 - \Delta_2 - \cdots - \Delta_n.$$

Bezeichnen wir $\dfrac{\Delta_1 + \Delta_2 + \cdots + \Delta_n}{n} = \alpha$, so ist $r = \dfrac{1}{n} R + \alpha$,

folglich

$$r_1 = \frac{1}{n} R + \alpha - \Delta_1$$

$$r_2 = \frac{1}{n} R + \alpha - \Delta_2$$

$$\cdots\cdots\cdots$$

$$r_n = \frac{1}{n} R + \alpha - \Delta_n.$$

Die Korrektionen, die man zu den Ablesungen a, $2a$, $3a \ldots (n-1)a$ hinzugefügt hat, um die geometrische Länge auf Widerstand zu reduciren, sind demnach

Digitized by Google

für Teilstrich	a	$\alpha - \Delta_1$
	$2a$	$2\alpha - \Delta_1 - \Delta_2$
	$3a$	$3\alpha - \Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_3$
	. . . . .	.
	$(n-1)a$	$(n-1)\alpha - \Delta_1 - \Delta_2 - \cdots - \Delta_{n-1}$.

Die Übergangswiderstände von den Klemmen zu den Enden des Brückendrahtes, sowie etwaige Verschiebungen der Drahtenden gegen die Enden der Teilung sind in diesen Korrektionen einbegriffen. Die Korrektionen in der Nähe der Enden selbst aber, welche von besonderer Bedeutung sein können, erhält man nicht und kann dieselben nur schätzen, indem man die Korrektionen aus ihrem Verlauf zwischen a und $(n-1)a$ auf 0 bez. na extrapolirt, etwa durch eine graphische Darstellung. Man müfste aber, um dies einigermafsen sicher thun zu können, eine sehr grofse Zahl von Teilstrecken nehmen.

Statt dessen wird es meistens bequemer sein, noch zwei sehr verschiedene bekannte Widerstände, von denen der eine sehr grofs ist, damit die Zuleitungen keine Fehler geben (etwa 10 Ohm und 1000 Ohm aus einem geprüften Rheostaten), an der Brücke miteinander zu vergleichen (s. Fig. 40) und daraus die Korrektionen zweier den Enden naher Punkte abzuleiten.

Zur Kalibrirung in einer grofsen Anzahl von Abteilungen, etwa 20, die für genauere Bestimmungen doch notwendig sein werden, ist die grofse Anzahl von Drahtstücken bez. Quecksilberverbindungen lästig und auch eine Fehlerquelle. Man kann dieselbe aber vermeiden. Z. B. zerschneide man den Draht in sechs Stücke, nämlich 0,5, 0,2, zweimal 0,1 und zweimal 0,05 und nehme von den beiden kleinsten Stücken eins als Normaldraht. Man sieht leicht, wie man diesen durch geeignete Gruppirung der Stücke in alle 20 Lagen bringen kann.

Kalibrirungsmethoden in anderer Ausführung s. bei Foster 1885; Heerwagen 1889; vgl. K. Leitfaden 8. Aufl., p. 328.

Besitzt man einen kalibrirten Brückendraht, so läfst sich, wie man leicht sieht, durch direkte Vergleichung mit demselben auch für einen anderen Draht eine Korrektionstabelle ableiten.

Kalibrirung eines Brückendrahtes mit dem Rheostaten.

Viel rascher als durch die vorigen Verfahren kalibrirt man einen Brückendraht durch Vergleichung seiner Teile mittels eines Stöpselrheostaten. Werden in der Brücke zwei bekannte Widerstände R_a und R_b verglichen, so ist der Sollwert der Einstellung $a = \frac{R_a}{R_a + R_b}$. Innerhalb des Rheostaten lassen sich leicht Paare von Gruppen R_a und R_b bilden, die geeignete Widerstandsverhältnisse haben, um eine Anzahl gleich weit von-

Digitized by Google

einander abstehender Punkte des Brückendrahtes zu prüfen bez. zu korrigiren. Figur 40 zeigt die Verbindungen. Ein schätzbarer Vorteil dieser Methode besteht darin, dafs dieselbe nicht wie die vorige eines zusammenhängenden Systemes von Beobachtungen bedarf, sondern dafs jeder einzelne Punkt der Teilung für sich zu prüfen ist.

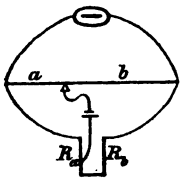

Fig. 40.

Der Rheostat habe etwa die gewöhnliche Einteilung 500, 200, 200, 100, 50, 20 etc. In der folgenden Zusammenstellung sind Verhältnisse von je zwei Widerständen angegeben, die man im Rheostaten nebeneinander haben kann und welche den in der ersten Spalte angeführten Teilverhältnissen des Drahtes entsprechen, die (aufser einem Punkt nahe am Ende) genau oder nahe von 50 zu 50 Teilen fortschreiten. Zu jedem Punkt bez. jeder Gegend des Brückendrahtes sind zwei Rheostatenverhältnisse gegeben, deren Anwendung also eine Kontrole gibt.

Brücke.			Rheostat.					
a		b	R_a Ohm	R_b Ohm		R_a Ohm		R_b Ohm
10^p	:	990^p	= 5	: 495	oder	10	:	990
50	:	950	= 10	: 190	oder	50	:	950
100	:	900	= 100	: 900	oder	50	:	450
148,94	:	851,06	= 35	: 200	oder	70	:	400
150	:	850	= 30	: 170				
200	:	800	= 100	: 400	oder	50	:	200
250	:	750	= 100	: 300	oder	50	:	150
300	:	700	= 300	: 700				
300,70	:	699,30	= 215	: 500				
350,65	:	649,35	= 270	: 500	oder	54	:	100
399,40	:	600,60	= 133	: 200				
401,10	:	598,90	= 67	: 100	oder	134	:	200
450,55	:	549,45	= 410	: 500	oder	82	:	100
500	:	500	= 200	: 200	oder	500	:	500

Vom Teilstrich 0 bis 500 ist die kleine Seite des Rheostaten mit dem Nullpunkt der Brücke zu verbinden, die grofse mit dem Ende bei 1000. Von da an kehrt man die Verbindungen um. Damit diese Zuleitungen und die Stöpselwiderstände nicht in Betracht kommen, bevorzugt man grofse Rheostatenwiderstände, welche im Allgemeinen auch relativ genauer abgeglichen bez. bestimmt sind.

Die Drahtkorrektionen werden, wenn der Rheostat selbst keine Fehler hat, einfach erhalten; war die Einstellung an der Brücke $= a$ gefunden, während sie nach den Rheostatenwiderständen berechnet a' (also bei den Beispielen oben 10, 50, 100, 148,94 etc.) hätte sein sollen, so ist die Korrektion an dieser Stelle eben $= a' - a$.

Digitized by Google

Ist der Rheostat selbst mit einer Fehlertabelle versehen, so berechnet man den Sollwert a' der Brückeneinstellung als $a' = 1000\, w_a/(w_a + w_b)$, indem für w_a und w_b die korrigirten Werte eingesetzt werden.

Es sei z. B. (für den Teilstrich 200):

$w_a = 100 - 0{,}23 = 99{,}77$ Ohm; $\lg w_a = 1{\cdot}99900$

$w_b = 400 + 0{,}14$

$w_a + w_b = 500 - 0{,}09 = 499{,}91$ Ohm; $\lg (w_a + w_b) = 2{\cdot}69889$

$$\lg a' = \lg 1000 \frac{w_a}{w_a + w_b} = 2{\cdot}30011; \quad a' = 199{,}58.$$

Beobachtet seien die Einstellungen 198,8 198,9 198,8; Mittel $a = 198{,}83$

Korrektion $a' - a = +0{,}75$

Ein geübter Rechner wird folgende Rechnung vorziehen. Die Nennwerte der Rheostatenwiderstände w_a und $w_a + w_b$ seien w und W (im Beispiel 100 und 500), die Korrektionen aus der Rheostatentabelle seien δ bez. Δ (oben $-0{,}23$ und $-0{,}09$). Dann ist

$$\frac{w_a}{w_a + w_b} = \frac{w + \delta}{W + \Delta} = \frac{w}{W} \frac{1 + \frac{\delta}{w}}{1 + \frac{\Delta}{W}} = \frac{w}{W}\left(1 + \frac{\delta}{w} - \frac{\Delta}{W}\right).$$

Man hat also zu der Zahl $a' = 1000 \cdot w/W$ der Tabelle (hier 200) zu addiren:

$a'\left(\frac{\delta}{w} - \frac{\Delta}{W}\right)$, im Beispiel $200\left(-\frac{0{,}23}{100} + \frac{0{,}09}{500}\right) = -200 \cdot 0{,}0021 = -0{,}42$.

Also ist $a' = 200 - 0{,}42 = 199{,}58$.

Korrektionstabelle des Brückendrahtes.

Die gewonnenen Korrektionen trägt man als Ordinaten zu den zugehörigen Teilstrichen als Abscissen in karrirtes Papier

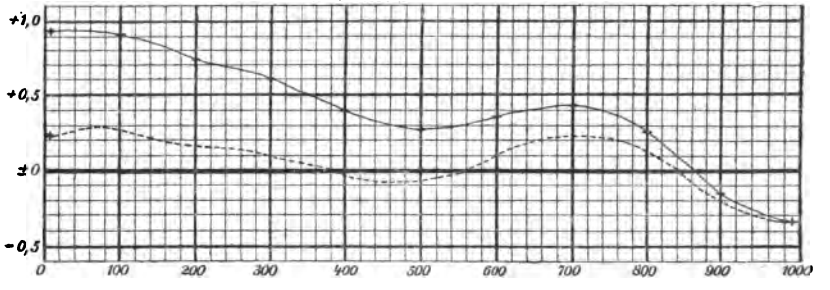

Fig. 41.

ein, zieht durch die Punkte unter Vermeidung von Ecken eine Kurve und benutzt dieselbe zur Interpolation der zwischen-

Digitized by Google

liegenden Werte. Dafs man die in einer solchen Ergänzung liegende Unsicherheit um so mehr einschränkt, je mehr Korrektionspunkte festgelegt werden, ist selbstverständlich.

Figur 41 gibt ein Beispiel für eine von 100 zu 100 Tstr. angestellte Beobachtung. Über die Bedeutung der punktirten Kurve vgl. S. 51.

Am angemessensten gibt man schliefslich einer Gebrauchstabelle unter Beschränkung der Korrektion auf ganze Zehntel die Gestalt, dafs man die Grenzen der Gebiete zusammenstellt, in denen die aufeinanderfolgenden Zehntel gelten. Aus der Figur z. B. ergibt sich:

Zwischen	0	150	195..370	420	590	770..900	940	1000
Korrektion =	+ 0,9	+ 0,8.....	+ 0,4	+ 0,3	+ 0,4.....	— 0,2	— 0,3.	

VII. Verminderung der Korrektionen eines Brückendrahtes.

Die Erscheinung, dafs die Korrektion an dem Drahtende bei kleinen Ziffern positiv und oben negativ ist, wird man in der Regel finden; sie wird durch die Widerstände bewirkt, die zwischen den Endklemmen und dem bei 0 bez. 1000 geklemmten Drahte bestehen. Ohne dies würden die Zahlen kleiner und die Tabelle viel bequemer werden.

Offenbar läfst dieser Vorteil sich einfach dadurch erzielen, dafs man nicht den Draht bei 0 bez. 1000 aus den Endkontakten heraustreten läfst, sondern die Endkontakte um eine geeignete Gröfse nach innen verschiebt. Der Mechaniker sollte dies nicht übersehen; etwa je 1 Tstr. auf jeder Seite wird mittleren Verhältnissen entsprechen. Vgl. auch das Beispiel f. S.

VIII. Kontrole des Brückendrahtes.

Die Tabelle kann sich mit der Zeit ändern, zum kleineren Teile durch Abnutzung des Drahtes, gröfstenteils aber dadurch, dafs die Übergangswiderstände an den Enden etwas andere Werte bekommen. Vorzugsweise die Endkorrektionen soll man deswegen öfters kontroliren oder neu bestimmen.

Kontrole der Korrektionstabelle durch Vorschaltwiderstände. Die S. 44 beschriebene Vorschaltung des 9fachen Widerstands des Brückendrahtes läfst sich sehr einfach zur Kontrole der Endkorrek-

Digitized by Google

tionen und zur ev. Aufstellung einer neuen Tabelle benutzen. Zu diesem Zwecke vergleicht man zwei recht verschiedene Widerstände (etwa 100 : 1 oder mehr) erstens mittels des bloßen Drahtes und zweitens, nachdem der Betrag $9R$ vorgeschaltet worden ist. Man korrigirt nun beide Ablesungen nach den vorhandenen Tabellen; die korrigirten Ablesungen seien a und A. Sind die Tabellen noch richtig, so muß, wie man leicht sieht, falls der kleine Widerstand an den kleinen Zahlen der Brückenteilung lag, $A = 10a$ sein. Andernfalls hat der ideale Nullpunkt sich verschoben, und es muß die bisherige untere Endkorrektion um $\varepsilon_0 = \frac{1}{9}(A - 10a)$ vermehrt werden. Lag der kleinere Widerstand an den großen Zahlen des Brückendrahtes, so muß $A = 10a - 9000$ sein. Andernfalls muß die obere Endkorrektion um $\varepsilon_1 = \frac{1}{9}(A + 9000 - 10a)$ vergrößert werden. (Die kleinen Änderungen ε_0 und ε_1 können natürlich positive oder negative Größen sein.) Vorausgesetzt wird hierbei, daß die Ablesungen a den beiden Enden sehr nahe lagen, sonst ist die Rechnung nur genähert richtig.

Aus den für die Endkorrektionen gefundenen Änderungen ε_0 und ε_1 läßt sich, unter der Annahme, daß der Draht im Übrigen sich nicht geändert hat, sofort die jetzt giltige Korrektionstabelle ableiten. Es ist nämlich die frühere Korrektion eines Teilstrichs a zu vermehren um $\frac{1}{1000}\big(a\varepsilon_1 + (1000 - a)\varepsilon_0\big)$ oder, bequemer zum Rechnen um

$$\varepsilon_0 + \frac{a}{1000}(\varepsilon_1 - \varepsilon_0).$$

(Das erste Glied bedeutet eine Verschiebung, das zweite eine Drehung der Korrektionskurve.)

Man habe z. B. nach Aufstellung jener Korrektionstabelle (vor. S.) absichtlich, um die Korrektionen zu verkleinern, die linken Endkontakte etwas nach innen geschoben und die Endkorrektionen,

welche früher betrugen:	bei 0	$+0{,}9$	und bei 1000	$-0{,}4$,
hierdurch geändert in:	„ „	$+0{,}2$	„ „ „	$-0{,}4$,
		$\varepsilon_0 = -0{,}7$		$\varepsilon_1 = +0{,}0$

so ist die zum Teilstriche a früher gefundene Korrektion zu ändern um

$$\varepsilon_0 + \frac{a}{1000}(\varepsilon_1 - \varepsilon_0) = -0{,}7 + a \cdot 0{,}0007,$$

also z. B. bei dem Teilstrich 400 um $-0{,}7 + 0{,}28 = -0{,}4$ etc. (Die Rechnungen wird man auf Hundertel Teilstriche ausführen, da man bei der Mittelbildung aus verschiedenen Beobachtungen doch auf Hundertel geführt worden sein wird.) Die hierdurch entstehende Kurve, in Fig. 41 S. 49 punktirt eingetragen, zeigt, wie sehr man durch Verschiebung der Endkontakte die Korrektionen verkleinern kann.

Digitized by Google

IX. Differentialinduktor.

Die Induktionsrolle besteht aus zwei miteinander aufgespulten Drähten, die sowohl gleichen Widerstand haben wie eine gleiche elektromotorische Kraft entwickeln sollen. Zwei Enden von entgegengesetzter Richtung sind am „Verzweigungspunkt“ C miteinander verbunden, die beiden anderen Enden mit den zu vergleichenden Widerständen W und R. Die anderen Seiten von W und R haben Verbindung miteinander und mit dem Telephon, welches andrerseits in den Verzweigungspunkt mündet. (Die primäre Spule ist in der Figur nicht angedeutet.) Aus der Symmetrie folgt, dafs das Telephon schweigt, wenn $W = R$ ist (Elsas 1. 1888). Ob die Induktionszweige wirklich Symmetrie haben, sieht man daran, dafs Widerstände, deren Gleichheit bekannt ist, also etwa zwei Widerstände aus einem Rheostaten, das Telephon wirklich schweigen machen, oder daran, dafs die Vertauschung von W und R nichts ändert. Man stelle diesen Versuch mit einem kleinen und einem grofsen Widerstandspaare an.

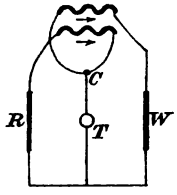

Fig. 42.

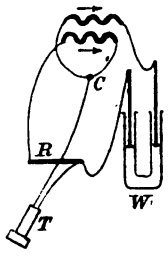

Fig. 43.

Das Verfahren wird, wenn W ein konstanter, zu bestimmender Widerstand, R ein Stöpselrheostat ist, etwas mühsam, und interpoliren kann man auch nicht gut. Sehr bequem und nach der Anordnung die einfachste Methode von allen wird es aber für die Messung mit dem U-Gefäfs von veränderlicher Kapacität. W und R sitzen an den entgegengesetzten freien Enden des Differentialinduktors. Das Telephon ist an die Verzweigungsklemme C und an eine Klemme D angeschlossen; Fig. 43.

Universalinduktor mit Rheostat.

Fig. 44 enthält ein mit Widerständen zusammengestelltes Induktorium, welches man erstens als einfachen Induktionsapparat mit Rheostat in der Schleifbrücke gebrauchen kann (45a), zweitens als Differentialinduktorium (45b) und endlich, etwa für Übungszwecke im Praktikum, nach II, S. 35 zu der Methode der Brückenverzweigung mit gleichen Zweigen (45c). Zu letzterem Zwecke enthält der vereinfachte Rheostat (S. 22) statt 30 und 70 die Widerstände 50 und 50 Ohm. Dieser Schaltung entspricht Fig. 44 und 45c.

Digitized by Google

$A_1 E_1$ und $A_2 E_2$ sind in Fig. 45a bis 45c die beiden Windungslagen der Sekundärspule (die Primärspule ist nicht gezeichnet). Die Stöpselung zwischen A_2 und E_1 (Fig. 45a) macht also die Klötze A_1 und E_2 zu den beiden Polen eines gewöhnlichen Induktionsapparates.

Fig. 45a entspricht genau der Verbindung in Fig. 34 S. 40. Der

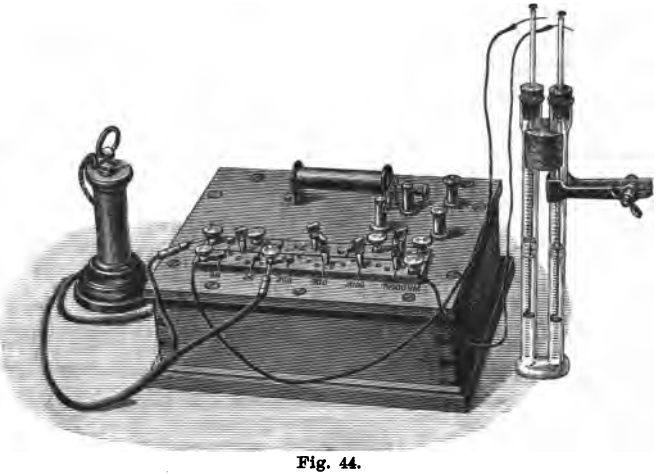

Fig. 44.

Pol A_1 ist zum Schleifkontakt eines Brückendrahtes geführt, an dessen Enden das Telephon hängt. Die Stromverzweigung geschieht durch die

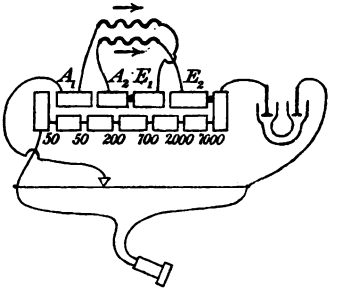

Fig. 45a.

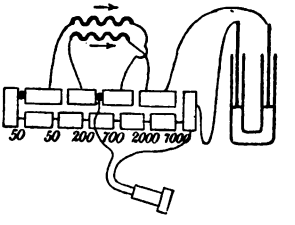

Fig. 45b.

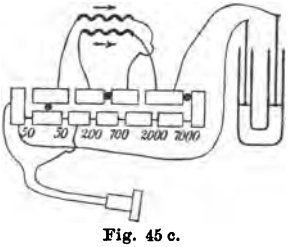

Fig. 45c.

beiden Teile des Brückendrahtes und dann einerseits durch den Rheostaten, andrerseits durch die Flüssigkeit zu dem anderen Pole E_2.

45b gibt die Benutzung als Differentialinduktor. Der Stöpsel zwischen A_2 und E_1 bildet den Verzweigungspunkt für das Telephon. Die Pole A_1 und E_2 sind durch den Rheostaten und die Flüssigkeit, an deren Verbindungsstelle der andere Telephondraht mündet, geschlossen; genau wie in Fig. 42 oder 43.

Digitized by Google

In 45c endlich verzweigt sich der Strom vom Pole A_1 aus durch die beiden 50er, an deren Enden das Telephon sitzt, und im Anschluſs daran einerseits durch den Rheostaten (der aber jetzt nur aus den Stücken 200 bis 7000 Ohm besteht), andrerseits durch die Flüssigkeit. Beide Stromzweige kommen am Pole E_2 wieder zusammen. Die Verbindung entspricht Fig. 31a S. 36.

In den Fällen 45a und 45c steht es frei, von den beiden Windungslagen des Induktoriums nur die eine zu gebrauchen, indem man nämlich statt A_2E_1 A_1A_2 oder E_1E_2 stöpselt. Stöpselt man beide genannte Stellen gleichzeitig, so sind die beiden Lagen nebeneinander verbunden, d. h. das Induktorium bietet die halbe elektromotorische Kraft aber auch nur den vierten Teil des Widerstandes wie bei der Stöpselung A_2E_1.

12. Fehlerquellen bei der Messung mit Wechselströmen.

Dem Gleichstrom gegenüber hat der Wechselstrom den Vorteil, keine einseitigen Wirkungen hervorzubringen und von einseitig wirkenden Umständen unabhängig zu sein. Weder Änderungen des magnetischen Feldes, noch Thermokräfte, noch einseitige Polarisationen üben die geringsten Störungen aus. Zu berücksichtigen ist aber erstens die mit dem Gleichstrom gemeinschaftliche Stromwärme, zweitens Selbstinduktion oder Kapacität in den Leitungen, die hier gefährlicher auftreten als bei dem Gleichstrom, und endlich bei Elektrolyten die Frage, ob die Polarisation bis zu dem notwendigen Maſse vermieden ist.

I. Stromwärme.

Diese ist häufig der bedenklichste Gegner einer genauen Messung an Elektrolyten, besonders bei den Strömen eines Unterbrechungs-Induktoriums, deren Energie sich nicht wohl von vorn herein schätzen läſst. Und es ist zu beachten, daſs $^1/_{10}$ Grad Fehler das Leitvermögen eines Elektrolytes durchschnittlich um 2 Promille falsch erscheinen läſst.

Die Maſsregeln gegen diese Fehlerquelle bestehen erstens darin, daſs man unnötig starke Ströme nicht anwendet; über die Abschwächung vgl. § 10 II, S. 32. Zweitens in einer kurzen Dauer des Stromschlusses, die sich bei der groſsen Einfachheit der Beobachtung mit dem Telephon immer leicht erzielen läſst. Nötigenfalls bestimmt man durch einen Vorversuch die zu erwartende Einstellung angenähert, unterbricht dann, rührt das

Digitized by Google

Bad und bewegt womöglich die Lösung selbst in ihrem Gefäfse, bis die Temperatur sich wieder ausgeglichen hat, und führt schliefslich die eigentliche Messung rasch aus.

Ob man mit dauerndem Stromschlufs arbeiten darf, erkennt man leicht daran, ob das Minimum nach dem Schliefsen ruhig liegen bleibt oder ob es sich mit der Zeit im Sinne einer Verkleinerung des Widerstandes verschiebt. Unnötig lange soll man aber auch im Interesse des Rheostatenwiderstandes nicht schliefsen.

Je kleiner die Masse der Flüssigkeit in den engen Teilen eines Widerstandsgefäfses ist und je dicker dessen Wandungen sind, desto vorsichtiger mufs man sein. Im Allgemeinen bekommen sehr schlechte Leiter zu wenig Strom, und sehr gute von nicht zu kleinem Querschnitt bieten einen zu geringen Widerstand, um unter der Stromwärme zu leiden, doch hängt dies von den Verhältnissen ab.

II. Polarisation, Selbstinduktion und Kapacität.

Äufserlich machen diese Fehlerquellen sich von selbst in einer Verwaschung des Tonminimums, unter Umständen auch in einer Unsymmetrie der Klangfarbe in der Nachbarschaft merklich; diese Selbstanmeldung ist als eine grofse Annehmlichkeit des Verfahrens zu bezeichnen. Über die Art der Einstellung, wenn diese Wirkung in mäfsigem Betrage vorhanden ist, vgl. § 10 S. 32; über die Theorie dieser Einflüsse § 12 am Schlufs.

Keineswegs entsteht nun bei einem solchen bemerkbaren Einflufs alsbald ein merklicher Fehler des Resultats: übersteigt die Unschärfe nicht einen Betrag, der den Ort des Minimums noch gut erkennen läfst, so liefert dieser Ort den gesuchten Widerstand auch richtig, aufser vielleicht, wenn es sich um ungewöhnlich kleine oder sehr grofse Widerstände handelt (vgl. Kohlr. 16. 1893). Man kann sich hiervon überzeugen, indem man anderweitig bekannte Rheostatenwiderstände, welche nicht induktions- oder kapacitätsfrei sind, mittels des Telephons vergleicht. Man wird dann finden, dafs, damit systematische Fehler etwa von einem Tausendtel

Digitized by Google

entstehen, die Unschärfe des Minimums bereits so groſs sein muſs, daſs es dem Ungeübten schwer gelingt, eine Einstellung vorzunehmen.

Polarisation. Diese Fehlerquelle ist bei richtiger Behandlung unerheblich. Ihre Wirkung nimmt auſser mit steigender Wechselzahl der Schwingungen mit dem Wachsen des zu bestimmenden Widerstandes ab (S. 65). Sie kommt hauptsächlich bei guten Leitern in Frage. Durch genügende Gröſse und gute Platinirung der Elektroden in Verbindung mit einem Widerstandsgefäſs von genügend groſser Kapacität ist sie immer auf ein beliebiges Maſs zu reduciren.

Von gut nach § 5 I platinirten Elektroden kann man annehmen, daſs sie bei Beobachtungen mit dem Hörtelephon ohne jedes Bedenken wegen eines Fehlers bei je 1 cm^2 wirksamer Oberfläche auf Widerstände von 100 Ohm, also bei 10 cm^2 Fläche auf 10 Ohm angewandt werden dürfen. Unter diesen Widerstand wird man auch aus anderen Gründen nicht herabsteigen. Kommt es auf ein oder einige Promille Unsicherheit nicht an, so mag man statt 1 bez. 10 cm^2 auch $^1/_4$ bez. 3 cm^2 sich gesetzt denken. Ob man zu weit gegangen ist, erkennt man leicht daran, daſs das Minimum unzulässig stark verwaschen erscheint.

Die Tonhöhe des Unterbrechers ist hierbei von untergeordnetem Einfluſs. Dies rührt davon her, daſs die Schwingungen, welche im Telephon zur Wirkung kommen, weniger dem Grundton des Unterbrechers entsprechen als viel höher liegenden Tönen, die bei einer so plötzlichen Wirkung wie die einer Stromunterbrechung mit entstehen (Lenard 1890).

Aus demselben Grunde aber übt die Polarisation auf harmonische Schwingungen, welche der Sinusinduktor liefert oder auf welche das optische Telephon oder das Vibrationsgalvanometer reagiren, einen erheblicheren Einfluſs aus (Kohlr. 16. 1893; M. Wien 5. 1896).

Ist man nicht in der Lage, die Polarisation hinreichend eliminiren zu können, so kann man den Fehler durch absichtliches Einschalten einer solchen in einem Nachbarzweige kompensiren. Dazu nimmt man blanke unten zugespitzte Tauchelektroden, in sehr kleinem Abstande voneinander, die man

Digitized by Google

in gut leitende Schwefelsäure oder Salzsäure so tief eintaucht, dafs ein brauchbares Tonminimum entsteht (Nernst 5. 1894; vgl. auch Déguisne 2. 1895).

Selbstinduktion. Diese kommt in merklichem Mafse nur den Drahtwiderständen zu. Ihr Einflufs steigt mit der Wechselzahl, vermindert sich aber mit zunehmendem Widerstand (S. 62). Da sich nun die kleineren Drahtrollen durch sorgfältig bifilare Windung leicht induktionsfrei herstellen lassen, so liegt in der Selbstinduktion bei der Bestimmung von Leitvermögen keine Schwierigkeit.

Wenn aber ganz kleine Widerstände z. B. von galvanischen Elementen oder gar die Zuleitwiderstände mit Wechselströmen bestimmt werden, so ist zu beachten, dafs sogar die Selbstinduktion der Verbindungsdrähte, wenn sie Flächen einschliefsen, schädlich wirken kann. Die Drähte sind durch möglichstes Zusammenlegen induktionsfrei zu machen. Vgl. § 8.

Kapacität. Hier liegt die Sache unter Umständen schwieriger. Erstens kommen beträchtliche Kapacitäten sowohl in den Rollen vor, besonders wenn dieselben aus längeren, bifilar gewundenen Drähten bestehen, wie an den Flüssigkeitszellen, besonders wenn dieselben im Bade stehen; zweitens aber wächst der Einflufs der Kapacität mit der Schwingungszahl und mit dem Widerstande (S. 68). Die Verhältnisse bringen es also mit sich, dafs der Bestimmung grofser Widerstände aus der Kapacität Hindernisse erwachsen müssen.

Widerstandsrollen sollten, wenn ein gutes Minimum verlangt wird, bei den gebräuchlichen Drahtsorten von 500 Ohm an nicht mehr bifilar gewunden sein. Stücke von einigen Tausend Ohm können sonst schon unbrauchbar werden; mit einem Stück von 10000 Ohm ist nicht mehr ohne weiteres zu arbeiten. Doch soll hier gleich bemerkt werden, dafs die Zusammensetzung der Widerstände aus mehreren kleineren Stücken hintereinander kleinere Kapacität bewirkt, als ein einziges Stück von dem Gesamtbetrage aufzuweisen pflegt (Elsas 2. 1891).

Die grofse Kapacität (Aufnahme von Ladung) bifilar gewundener Rollen kommt daher, dafs bei dieser Anordnung die Strecken gröfsten Spannungsunterschiedes dicht nebeneinander liegen und dafs also Ladungen in ähnlicher Weise eintreten wie

Digitized by Google

auf einem Kondensator. Man vermeidet dies, indem man den Draht in gewöhnlicher Weise (unifilar) aufspult. Da aber auch bei grofsen Widerständen Selbstinduktion über einen gewissen Betrag vermieden werden mufs, so kehrt man nach der Herstellung einer Windungslage für die folgende jedesmal die Richtung des Wickelns um (Chaperon 1. 1889). Rollen bis 2000 Ohm lassen sich, auch bei der gebräuchlichen gestreckten Gestalt, so ohne eine irgendwie lästige Kapacität herstellen. Bei noch gröfseren Widerständen aber wendet man, damit die einander benachbarten Windungen nicht durch zu grofse Drahtstrecken getrennt sind, den weiteren Kunstgriff an, immer nur einen Teil einer Lage zu wickeln und durch eine entgegengesetzte Lage zu überwickeln; also man setzt die Gesamtrolle gewissermafsen aus verschiedenen, aneinander anstofsenden Rollen zusammen. Mit diesen Vorsichtsmafsregeln kann man mit dünnen Drahtsorten von hohem specifischen Widerstande Rollen bis zu etwa 30000 Ohm noch brauchbar machen.

Je feiner also auch kürzer der Draht ist, desto weniger kommen diese Schwierigkeiten in Betracht; doch steckt die nicht unerhebliche Stromwärme der Wechselströme des Induktoriums für die Drahtdicke eine untere Grenze.

Die bekannten Widerstände aus Graphitstrichen sind für Wechselstrom noch weniger konstant als für Gleichstrom. Sehr zu wünschen ist, dafs der von Kundt herrührende Vorschlag, grofse metallische Widerstände aus sehr dünnen und daher verhältnismäfsig kurzen Schichten auf Porzellan eingebrannten Metalles herzustellen, bis zur Herstellung solcher Widerstände für den Handel entwickelt werde. Dann wäre jede Schwierigkeit gehoben. — Vgl. übrigens noch die Kompensation unter III.

Einen guten Erfolg bezüglich kleiner Selbstinduktion und Kapacität versprechen auch die auf Glimmer gewickelten Widerstände (Feufsner).

Aber auch die Flüssigkeitszellen haben eine Kapacität, sie bekommen bei den wechselnden Strömen ab- und zufliefsende wechselnde Ladungen. Wegen der grofsen Dielektricitätskonstante ist z. B. die Kondensatorladung der Elektroden bei schlecht leitenden wässrigen Lösungen und bei Wasser selbst nicht unbedeutend und macht sich in einer Undeutlichkeit des Minimums bemerklich, doch nicht so stark, dafs

Digitized by Google

Hindernisse daraus entstehen. Viel stärker aber können bei grofsen Widerständen in ausgedehnten Gefäfsen die Ladungen stören, welche sich an den Wänden bilden (so, wie bei einem Kabel unter Wasser) und die besonders stark sind, wenn das Gefäfs im Bade steht oder auch nur aufsen feucht ist und sich dann also an den Aufsenwänden entgegengesetzt ladet. Die Messung von einigen Hunderttausend Ohm kann hierdurch sehr erschwert oder fehlerhaft gemacht werden. Den letzteren Umstand kann man nur durch eine nicht leitende Badflüssigkeit (Petroleum) vermeiden (vgl. Kohlr. 16. 1893).

III. Verbesserung durch einen Kondensator.

Die genannten, von Drahtrollen oder Gefäfsen herrührenden Unzuträglichkeiten lassen sich dadurch sehr vermindern, dafs man die in einem Zweige (*c*) auftretende Kapacität durch Hinzufügung einer solchen im anderen (*d*) kompensirt. Dazu dient ein kleiner Kondensator *K* von veränderlicher Kapacität, den man nebenschaltet. Entweder und meistens weifs man, wo dies zu geschehen hat oder man probirt es aus; an dem einen Zweige verschlechtert, an dem anderen verbessert die Zuschaltung das Minimum und an dem letzteren läfst man den Kondensator stehen und sucht dann die bestentsprechende Kapacität aus. Bei der Messung grofser Widerstände genügt oft eine ungeheuer kleine Kapacität, um das Minimum zu verschlechtern bez. zu verbessern (vgl. Kohlr. 16. 1893).

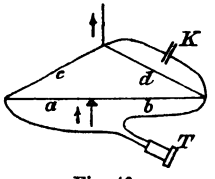

Fig. 46.

Als Kondensator können z. B. zwei Metallplatten mit zwischengelegter Glasscheibe oder paraffinirtem Stück Papier gebraucht werden, welche man aneinander verschiebt, bis die überdeckende Fläche die beste Wirkung gibt. Bequemer zu handhaben ist ein kleiner Stöpselkondensator (zu beziehen von Hartmann & Braun oder Keiser & Schmidt), dem man etwa die folgende Gestalt gibt (Kohlr. 20. 1895); Fig. 47 u. 48.

Ein 12 cm breiter und 1 m langer Streifen gleichmäfsigen Papiers von der Dicke gewöhnlichen Schreibpapiers wird durch heifses Paraffin (über 100°!) gezogen und dann zickzackförmig in fünf Dächer gefaltet. Die in der Zeichnung nicht sichtbare Oberfläche belegt man mit einem durchlaufenden Stanniolstreifen, der von den Papierrändern etwa 1 cm frei läfst. Auf die Innenseiten der Dächer kommen Stanniolbelegungen etwa von der Gröfse $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 4 ... 128 qcm, so angeordnet wie die

Digitized by Google

Figur 47 zeigt, an ihren Rändern gegen die gemeinsame Aufsenbelegung etwas zurücktretend. Durch Berühren mit einem heifsen Nagel klebt man die Blätter an einigen Punkten an das Paraffinpapier.

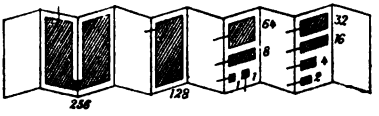

Fig. 47.

Als Zuleitungen dienen dünne Kupfer- oder Messingdrähte, deren, damit sie fest liegen, gewundene Enden unter die Blätter geschoben und zugleich mit dem heifsen Nagel eingeklebt werden.

Jetzt faltet man das Ganze zusammen, legt es zwischen zwei Streifen dicken Glases und dann mit den letzteren, unter Einschiebung zweier Stücke Tuch, zwischen zwei etwas überstehende Bretter, die mit messingenen Kopf-Holzschrauben mäfsig zusammengepreſst werden. Tuch und Holz sind in Paraffin gekocht.

Die Drähte führen, etwa durch übergeklebtes Paraffinpapier geschützt, von der gemeinsamen Belegung zu einer Klemme, von den anderen zu einzelnen Messingklötzchen, welche mit einem allen gegenüberstehenden Messingstreifen durch Stöpsel verbunden werden können. Letzterer Streifen trägt eine zweite Klemme. Mit den beiden Klemmen verbindet man die Enden des Widerstandes, welchem man eine Kapacität nebenschalten will, und probirt die für ein gutes Tonminimum erforderliche Gröfse der letzteren aus. Widerstände bis 700000 Ohm, von Amylalkohol z. B., lassen sich so noch mit einem guten Minimum messen.

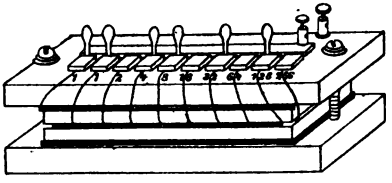
Fig. 48.

Hat man den Kondensator kalibrirt, was bekanntlich mit der Brücke und dem Telephon geschehen kann, so läfst er sich auch zu Messungen verwenden.

Auf Isolation ist der Kondensator an einem empfindlichen Galvanometer leicht zu prüfen, indem man, alles gestöpselt, ihn nebst einer Batterie vorschaltet und das Ausbleiben eines Dauerausschlages konstatirt oder aus dem kleinen Ausschlage den Isolationswiderstand berechnet (K. Leitfaden § 86 b.).

IV. Sonstige Hindernisse, besonders bei grofsen Widerständen.

Wachsen die zu messenden Widerstände auf Hunderttausende Ohm, so treten oft störende Geräusche im Telephon auf, die von elektrostatischen Ladungen herrühren und gelegentlich ohne einen sichtbaren Grund kommen und verschwinden. Ähnliches kann eintreten, wenn man den Strom des Induktoriums durch Einschalten grofser Widerstände in die Leitung abschwächen will. Die Störungen lassen sich meistens durch eine Erdleitung an einem geeigneten, dem Telephon nahe liegenden Punkte der

Digitized by Google

Verzweigung beseitigen oder wenigstens bis zur Brauchbarkeit des Minimums abschwächen. Millionen Ohm mit Wechselströmen und dem Telephon zu messen ist aber im Allgemeinen nicht möglich.

Endlich thut man bei sehr grofsen Widerständen auch gut, die Verbindungen des Telephons zu kommutiren und, wenn man verschiedene Einstellungen findet, das Mittel zu nehmen. Sonst können einige Procent Fehler entstehen (vgl. K. 20. 1893).

Fernwirkung des Induktoriums. Zu beachten ist, dafs das Induktorium hinreichend weit vom Telephon und den übrigen Teilen der Brücke entfernt stehen mufs, damit nicht unmittelbare magnetische oder inducirende Fernwirkungen entstehen, die besonders bei grofsen Widerständen stören oder auch Fehler bewirken. Man nimmt deswegen den Abstand des Induktoriums wenn möglich gröfser als 1 m; ist der Brückendraht aufgewunden, so stellt man ihn symmetrisch zu der Induktoraxe und ferner die Windungen beider senkrecht aufeinander. Die Verbindungsdrähte zwischen Induktor und Brückenverzweigung werden dicht nebeneinander geführt, ebenso die Telephonkabel. Das Telephon hält man, von der Brückenverzweigung hinreichend entfernt, so, dafs seine Windungen auf denen des Induktors senkrecht stehen.

Wo die verschiedenen Teile etwa in einem Apparat zusammengelegt sind, sollen die Leitungen in verständiger Weise so geführt sein, dafs der Elektromagnet des Induktors nicht inducirend auf sie wirkt.

Die Vorsichtsmafsregeln, auf welche hier ausführlich eingegangen ist, beziehen sich, wie man sieht, wesentlich nur auf ungewöhnliche Verhältnisse. Nur wenn die Widerstände sehr grofs werden, treten die vorgenannten Schwierigkeiten auf, und nur wenn sie sehr klein werden, diejenigen der Polarisation. Widerstände zwischen 50 und einigen Tausenden Ohm aber sind immer leicht zu bestimmen und verlangen besondere Umsicht nur bei einem Anspruch an eine grofse Exactheit, welcher, damit sie einen Zweck hat, eine bis auf einige Hundertel Grad genaue Temperaturbestimmung und eine das gewöhnliche Mafs übersteigende chemische Genauigkeit zur Seite gehen mufs.

V. Theoretisches über die Fehlerquellen.

In einem Stromkreise wirke eine periodische elektromotorische Kraft e von der Form (vgl. § 9 I)

$$e = E \sin at.$$

a kann die Winkelgeschwindigkeit einer Drehung sein, durch welche die el. Kraft inducirt wird. $2\pi/a = T$ ist die Dauer der ganzen Schwingungsperiode, $a/(2\pi)$ die Schwingungszahl, a/π die Wechselzahl in 1 sec.

Digitized by Google

Ist der Stromkreis frei von Selbstinduktion, Polarisation und Kapacität, so berechnet sich die Stromstärke i zur Zeit t, wenn w den Widerstand des Stromkreises bedeutet, nach dem Ohm'schen Gesetze

$$i = \frac{1}{w} E \sin at$$

als eine Welle von ähnlicher Gestalt und gleichem zeitlichen Verlauf, wie die el. Kraft.

Dieser einfache Zusammenhang hört auf, und der Strom wird sowohl in seiner mittleren Stärke geändert, wie in seiner Phase gegen die el. Kraft verschoben, wenn Selbstinduktion, Polarisation oder Kapacität in dem Stromkreise vorhanden ist.

1) Selbstinduktion.

Der Strom wird geschwächt und seine Welle bleibt hinter der Welle der el. Kraft zurück. Die Abweichung wächst mit zunehmender Schwingungszahl und abnehmendem Widerstande.

Die el. Kraft e_s der Selbstinduktion ist (wenn wir die Mitwirkung magnetisirter Eisenmassen ausschliefsen, soweit deren Magnetisirung nicht der magnetisirenden Kraft proportional ist oder wegen der im Eisen als Leiter inducirten Ströme, der sog. Foucault-Ströme, hinter der magnetisirenden Stromstärke zurückbleibt) in jedem Augenblicke der Änderungs-Geschwindigkeit der Stromstärke proportional und zwar dem Strome gleich gerichtet, wenn er abnimmt, und umgekehrt. Also kann man setzen

$$e_s = -S\frac{di}{dt},$$

wo S den Selbstinduktions-Coefficienten bedeutet.

Geometrische Darstellung. Die Abscisse soll die Zeit t bedeuten, so dafs der Wechselstrom sich geometrisch als eine Sinuswellenlinie darstellt. t denke man sich von rechts nach links gezählt; bewegt man dann die ganze Figur gleichmäfsig nach rechts und fixirt einen bestimmten vertikalen Querschnitt, so stellen die Bewegungen der Durchschnittspunkte der Kurven durch diesen Querschnitt die zeitlichen Änderungen dar.

Am einfachsten ist es, wenn wir mit der Aufzeichnung der Welle beginnen, welche die Stromstärke i gibt, die aus dem gemeinsamen Einflufs

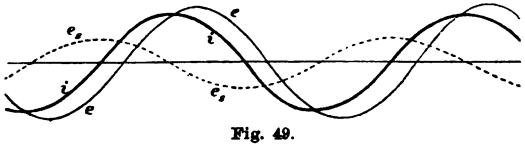

Fig. 49.

der primären el. Kraft und der Selbstinduktion wirklich resultirt, und daraus rückwärts die el. Kraft konstruiren, welche für diese Stromstärke aufgewendet werden mufs. Die stark ausgezogene Kurve Fig. 49 soll

Digitized by Google

diesen Strom bedeuten. Dann wird die el. Kraft der Selbstinduktion e_s auch durch eine Sinuslinie dargestellt, die aber gegen die Stromkurve verschoben ist, denn sie hat ihren gröfsten positiven oder negativen Wert da, wo der Strom am schnellsten abfällt oder ansteigt, d. h. wo die Stromstärke durch Null geht, und in den Augenblicken, wo der Strom sich nicht ändert, d. h. wo dieser seinen gröfsten positiven oder negativen Wert hat, ist die el. Kraft gleich Null. Die letztere hat also gegen den Strom „eine Phasendifferenz von $\frac{1}{2}\pi$".

Da es freisteht, wie grofs wir die Ordinate für die el. Kräfte zeichnen wollen, so wählen wir sie zur Einfachheit der Darstellung so, dafs die Kurve einer el. Kraft zugleich die Stromstärke bedeutet, welche von dieser el. Kraft allein in dem vorliegenden Leiter nach dem Ohm'schen Gesetz erzeugt werden würde. Die punktirte Kurve soll in diesem Sinne die el. Kraft der Selbstinduktion darstellen.

Nun können wir schliefslich die primäre el. Kraft e zeichnen, die mit dieser Selbstinduktion zusammen den Strom erzeugt, und zwar müssen offenbar die Ordinaten ihrer Kurve so beschaffen sein, dafs durch die algebraische Addition der Ordinate der Selbstinduktion zu ihnen an jedem Punkte die Stromstärke entsteht. Diesem Anspruche entsprechend ist die fein ausgezogene Linie gezeichnet. Man sieht sofort, erstens dafs ihre Amplitude gröfser ist als diejenige der Stromstärke (d. h. derjenigen el. Kraft, durch welche ohne Selbstinduktion dieser Strom entstehen würde) und zweitens, dafs ihre Maximal- oder ihre Nullpunkte gegen die entsprechenden Punkte der Stromkurve nach vorn verschoben sind. Der Strom ist also schwächer, als wenn er ohne Selbstinduktion in demselben Leiter hervorgebracht werden würde, und seine Welle bleibt hinter der Welle der el. Kraft zurück.

Analytische Ableitung. Für die Stromstärke i gilt

$$i = \frac{1}{w}(e + e_s) = \frac{1}{w}\left(E \sin at - S\frac{di}{dt}\right)$$

oder

$$wi + S\frac{di}{dt} = E \sin at. \qquad 1)$$

Dieser Gleichung entspricht nun ein Strom von dem Verlauf

$$i = \frac{E}{w^2 + S^2a^2}(w \sin at - Sa \cos at). \qquad 2)$$

Denn es ist $$wi = \frac{E}{w^2 + S^2a^2}(w^2 \sin at - Swa \cos at)$$

und $$S\frac{di}{dt} = \frac{E}{w^2 + S^2a^2}(Swa \cos at + S^2a^2 \sin at)$$

und die Summirung beider Ausdrücke gibt die Gleichung 1.

(Vorausgesetzt ist dabei, dafs der Vorgang schon eine (kurze) Zeit hindurch gedauert hat, sonst kommen andere Glieder hinzu, die aber im Allgemeinen sehr schnell gleich Null werden.)

Digitized by Google

Den Ausdruck (2) für die Stromstärke kann man nun übersichtlicher machen durch eine solche Umformung, dafs er anstatt der Summe mit Sinus und Cosinus nur einen Sinus enthält, aber nicht von dem Winkel $2\pi t/T$, nach welchem die el. Kraft gezählt wurde, sondern von einem gegen diese Zählung um eine Gröfse φ (die Phasenverschiebung) verschobenenen Winkel.

Bestimmt man nämlich φ so, dafs

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Sa}{w} \qquad \text{d. h. } \varphi = \operatorname{arc\,tg}\frac{Sa}{w}$$

ist, so läfst sich der Ausdruck (2) schreiben

$$i = \frac{E}{\sqrt{w^2 + S^2a^2}} \sin(at - \varphi). \tag{2a}$$

Denn es ist $\sin(at - \varphi) = \sin at \cos\varphi - \cos at \sin\varphi$

$$= \sin at \cdot \frac{w}{\sqrt{w^2 + S^2a^2}} - \cos at \cdot \frac{Sa}{\sqrt{w^2 + S^2a^2}} = \frac{w \sin at - Sa \cos at}{\sqrt{w^2 + S^2a^2}},$$

so dafs in der That der Ausdruck (2a) mit (2) identisch ist.

Die Phasenverschiebung φ bedeutet ein Zurückbleiben des Stromes gegen die el. Kraft, denn $at - \varphi$ ist kleiner als at. Bemerkt werde noch, dafs, wenn φ klein ist, man bekanntlich für die Tangente den Winkel setzen kann, also dann $\varphi = Sa/w$ oder, durch Wiedereinführung von $2\pi/T$ statt a, auch $\varphi = 2\pi \frac{S}{w\,T}$ schreiben kann.

Die Sinusform bleibt also für die Stromstärke bestehen. Erstens aber ist die Phase des Stromes um die Gröfse φ verschoben, welche, solange sie klein ist, nach dem Vorigen einesteils der Schwingungszahl, anderenteils dem Quotienten der Selbstinduktion durch den Widerstand proportional ist. Zweitens tritt als Widerstand in die Formel für die Stromstärke nicht der Ohm'sche Widerstand w ein, sondern

$$\sqrt{w^2 + S^2a^2} = w\sqrt{1 + a^2\frac{S^2}{w^2}} \tag{3}$$

oder auch, wenn φ klein ist $= w\sqrt{1+\varphi^2} = w(1 + \frac{1}{2}\varphi^2)$. Der scheinbare Zuwachs des Widerstandes ist also durch dieselbe Gröfse φ bestimmt, welche die Phasenverschiebung bedeutete. Die Korrektion des Widerstandes aber enthält das Quadrat dieser Gröfse, sie ist also, solange die Gröfse klein bleibt, eine Korrektion höherer Ordnung, was sehr wichtig ist. Denn die Phasenverschiebung macht sich infolge dessen viel früher bemerklich als die Änderung des Widerstandes und man kann also sagen, dafs mit Wechselströmen der Widerstand noch ohne einen merklichen Fehler gefunden wird, wenn die Phasenverschiebung schon eine merkliche Gröfse beträgt. Für telephonische Bestimmungen in der Brücke bedeutet dies, dafs die durch die Phasenverschiebung bewirkte Undeutlichkeit des Tonminimums viel eher merklich wird als eine Änderung des Ortes des Minimums eintritt.

Bemerkt soll noch werden, dafs die scheinbare Vermehrung des

Digitized by Google

Widerstandes nicht so zu verstehen ist, als ob durch sie ein gröfserer Verbrauch von elektrischer Energie einträte als dem Strome und dem Ohm'schen Widerstande entspricht. Das ist, wie man auch leicht von vorn herein sieht, nicht der Fall. Die Selbstinduktion bewirkt, wie der Techniker es ausdrückt, einen „wattlosen Strom".

2) Polarisation.

Der Strom wird geschwächt und eilt der elektromotorischen Kraft voraus. Die Abweichung nimmt mit wachsender Schwingungszahl und wachsendem Widerstande ab. Der Stromkreis enthalte keine Selbstinduktion, aber einen Elektrolyt, der durch die Stromprodukte an den Elektroden eine dem Strom entgegenwirkende el. Kraft e_p der Polarisation gibt. Wir setzen diese der ausgeschiedenen Menge der Stromprodukte proportional, also

$$e_p = -P\int i\,dt.$$

Die angenommene Proportionalität kann natürlich nur so lange gelten, wie die Dichtigkeit der Stromprodukte an den Elektroden klein bleibt; man nennt den Faktor P deswegen wohl die Initialkonstante der Polarisation. Sie ist natürlich der Flächengröfse der Elektroden (die gleich grofs angenommen werden) umgekehrt proportional, aufserdem aber von der Beschaffenheit des Elektrolytes und der Oberfläche der Elektroden abhängig; sie ist z. B. cet. par. um so kleiner, je vollkommener platinirt die Elektroden sind.

Geometrische Darstellung. Die stark ausgezogene Kurve bedeute wieder den durch das Zusammenwirken der primären el. Kraft $e = E \sin at$ und der Polarisation entstehenden Strom i. Die el. Kraft der Polarisation ist am stärksten, wenn ein Stromstofs einer Richtung ab-

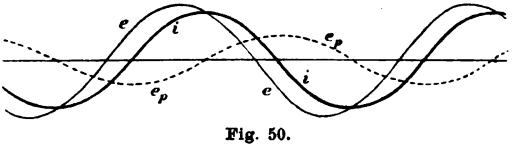

Fig. 50.

gelaufen ist und zwar wirkt sie immer der vorausgegangenen Stromwirkung entgegen. Sie soll durch die punktirte Kurve dargestellt werden. Die primäre el. Kraft mufs weiter so beschaffen sein, dafs sie mit der Polarisation algebraisch addirt, die augenblickliche Stromstärke bewirkt. Sie wird also durch die feiner ausgezogene Kurve dargestellt, die im Mittel höher und steiler ist, als die der Stromstärke entsprechende. Aufserdem aber sind die Maximal- und Nullpunkte beider Kurven gegeneinander verschoben und zwar, entgegengesetzt wie bei der Selbstinduktion, so dafs das Maximum etc. bei dem Strome früher eintritt als bei der el. Kraft; die Stromphase eilt voraus.

Digitized by Google

Analytische Ableitung. Der Ausdruck für die Stromstärke wird

$$i = \frac{1}{w}(e + e_p) = \frac{e}{w} - \frac{P}{w}\int i\,dt.$$

Um hieraus die Gestalt einer Differentialgleichung zu erhalten, braucht man die Gleichung nur nach t zu differenziren, wodurch man, wenn wieder $e = E \sin at$ angenommen wird, erhält:

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{w}\frac{de}{dt} - \frac{P}{w}i = \frac{Ea}{w}\cos at - \frac{P}{w}i.$$

Wir schreiben hierfür

$$\frac{P}{a}i + \frac{w}{a}\frac{di}{dt} = E \cdot \cos at. \qquad 4)$$

Aufser, dafs der Cosinus statt des Sinus vorkommt, entspricht die Gleichung 4 der früheren 1 mit dem Unterschiede, dafs die Faktoren von i bez. di/dt jetzt P/a bez. w/a sind, während sie früher w bez. S waren.

Das Integral der Gleichung wird also der Formel 2 entsprechend

$$i = \frac{E}{w^2 + \frac{P^2}{a^2}}\left(w \sin at + \frac{P}{a}\cos at\right); \qquad 5)$$

es läfst sich ebenso wie S. 63 leicht verificiren.

An die Stelle von $-Sa$ bei der Selbstinduktion tritt also bei der Polarisation $+P/a$. Das Folgende bedarf keines neuen Beweises, sondern läfst sich analog der für die Selbstinduktion vorgenommenen Verwandlung in einen vollständigen Sinus sofort hinschreiben. Die Stromstärke wird

$$i = \frac{E}{\sqrt{w^2 + \frac{P^2}{a^2}}} \sin(at + \varphi), \qquad 5a)$$

wo φ die, hier ein Voreilen der Stromstärke bedeutende Phasenverschiebung bedeutet

$$\varphi = \operatorname{arc\,tg}\frac{P}{aw} \quad \text{oder wenn } \varphi \text{ klein ist, auch} = \frac{P}{aw} = \frac{1}{2\pi}\frac{TP}{w}.$$

Der scheinbare Widerstand wird gleich

$$\sqrt{w^2 + \frac{P^2}{a^2}} = w\sqrt{1 + \frac{P^2}{a^2 w^2}} \qquad 6)$$

oder, wenn φ klein bleibt, $= w(1 + \frac{1}{2}\varphi^2)$. Der Ausdruck TP/w bedingt also hier die Korrektionen ebenso, wie $S/(wT)$ bei der Selbstinduktion. Beide Ausdrücke sind der Gröfse der Polarisations- bez. Selbstinduktions-Konstante P oder S direkt und dem Widerstande umgekehrt proportional, bei der Polarisation aber wächst mit der Langsamkeit der Schwingungen der Einflufs, während er bei der Selbstinduktion mit zunehmender Geschwindigkeit wuchs — ein Resultat, welches man voraussehen konnte. Die bei der Selbstinduktion gezogene Folgerung, dafs eine merkliche Phasendifferenz eintreten kann, ohne dafs der scheinbare Widerstand sich bereits merklich ändert gilt auch für die Polarisation.

Digitized by Google

Selbstinduktion und Polarisation in demselben Stromkreise. Daraus, dafs die Phasenverschiebung des Wechselstromes gegen die ihn hervorbringende el. Kraft durch die beiden Ursachen in entgegengesetzter Richtung stattfindet, entsteht die eigentümliche Erscheinung, dafs beide Einflüsse, wenn sie zusammen vorhanden sind, sich gegenseitig abschwächen und in bestimmten Fällen aufheben. Die geometrischen Darstellungen (Fig. 49 u. 50) zeigen dies sofort, und auch die quantitative Ableitung ergibt bei dem Zusammenwirken die Phasenverschiebung $\varphi = \operatorname{arc\,tg} \frac{1}{w}\left(\frac{P}{a} - Sa\right)$ oder bei kleinem Betrage $\varphi = \frac{1}{w}\left(\frac{P}{a} - Sa\right)$. Der scheinbare Widerstand des Stromkreises wird $\sqrt{w^2 + \left(\frac{P}{a} - Sa\right)^2}$, oder für kleine φ wieder gleich $w\sqrt{1+\varphi^2}$. φ kann gleich Null werden, wenn nämlich $a^2 = \frac{P}{S}$ wird, also kann der scheinbare Widerstand auch dem Ohm'schen Widerstande w gleich werden. Doch ist zu beachten, dafs dies immer nur für einen bestimmten Wert von a, d. h. für eine bestimmte Schwingungszahl eintritt, also bei dem Hörtelephon, welches gleichzeitig auf viele Schwingungen reagirt, ausgeschlossen ist.

Vgl. über das Vorige Kohlr. 2, 1873 und 2a, 1874.

Auffassung der Polarisation als einer Kondensator-Kapacität (Varley 1871). Es gibt für die Wirkung einer eingeschalteten elektrolytischen Zelle eine andere Auffassung als die vorige, die aber genau zu denselben Resultaten führt. Man denke sich nämlich einen Leiter vom Widerstande w, der durch einen eingeschalteten Kondensator von der grofsen Kapacität K unterbrochen ist und in welchem eine el. Kraft e einen Strom i hervorbringe, der den Kondensator ladet. Wenn dann die Strommenge $\int i\,dt$ durchgegangen ist, d. h. wenn der Kondensator mit dieser Menge geladen ist, so besteht auf ihm eine Spannungsdifferenz $= \frac{1}{K}\int i\,dt$; diese geht von der augenblicklichen el. Kraft ab, so dafs die el. Kraft nun $= e - \frac{1}{K}\int i\,dt$ ist. Das ist genau der Ausdruck, den wir für die el. Kraft mit Polarisation fanden (S. 65), sobald wir $P = 1/K$ setzen. Man kann deswegen den Stromkreis mit Polarisation auch als einen durch einen Kondensator unterbrochenen Stromkreis auffassen, dessen Kapacität K um so gröfser sein mufs, je kleiner die Polarisationskonstante P ist. K oder $1/P$ nennt man die Initialkapacität der Polarisationszelle. Bei grofsen Elektrodenflächen oder platinirten Elektroden ist P sehr klein und K hat einen sehr grofsen Wert.

Phasenverschiebung der Polarisation. Die vorige Theorie der Polarisation setzt voraus, dafs man die el. Kraft der Polarisation in jedem Augenblick der durchgegangenen Elektricitätsmenge proportional setzen darf. Nun aber nimmt eine bestehende Polarisation mit der Zeit von selbst ab. Wenn dies so rasch geschieht, dafs die Abnahme schon

Digitized by Google

in der Zeit der Stromperiode merklich ist, so erreicht die Polarisation z. B. den Wert Null nicht dann, wenn gerade ein halber Stromstofs abgelaufen ist, sondern schon früher, weil die Wirkung der zweit vorausgegangenen Stromhälfte entgegengesetzter Richtung sich bereits vermindert hat; die Polarisation selbst erleidet gegen die Kurve, durch die wir sie in Fig. 50 dargestellt haben, eine Phasenverschiebung und zwar nach vorn. Führt man an der punktirten Welle der Fig. 50 eine solche Verschiebung aus, so sieht man sofort, dafs hierdurch die Abweichung zwischen den beiden Wellenlinien, welche die primäre el. Kraft und die Stromstärke vorstellen, gröfser wird. Und zwar treten hierdurch Abweichungen des scheinbaren von dem Ohm'schen Widerstande ein, die nicht dem Quadrate, sondern der ersten Potenz der Schwingungszahl umgekehrt proportional sind und die deswegen leichter Fehler bewirken können. Nach Versuchen von M. Wien kann eine solche Phasenverschiebung der Polarisation in merklicher Gröfse vorhanden sein und mufs bei Messungen mit dem Dynamometer oder dem optischen Telephon beachtet werden, während sie bei dem Hörtelephon, solange das Minimum ausreichend scharf bleibt, keinen Fehler bewirkt (M. Wien 5. 1896).

3) Kapacität.

Der Strom ist verstärkt und seine Welle eilt der Welle der el. Kraft vor. Der Einflufs wächst mit der Schwingungszahl und mit dem Widerstande.

Begriff der Kapacität. Man nennt Kapacität eines Leiters seine Eigenschaft, unter der Einwirkung elektrischer Spannungen eine statische Ladung aufzunehmen. Jeder Leiter hat Kapacität; die Ladung, welche ein freier Draht unter der Einwirkung der kleinen Spannungen galvanischer Ströme annimmt, ist aber im Vergleich mit der grofsen Elektricitätsmenge, die mit dem Strome fliefst, im Allgemeinen verschwindend klein.

Eine gröfsere Kapacität aber kommt zu Stande erstens in Zellen mit schlechtleitenden Lösungen, welche wegen der grofsen Dielektricitätskonstante des Wassers eine verhältnismäfsig grofse Ladung annehmen, zweitens durch Bäder, in denen solche Zellen stehen, da an den Glaswänden der Zelle sich Ladungen kondensiren, und drittens in Drahtrollen, wenn sie bifilar gewickelt sind. Die beiden Hälften des Drahtes liegen nämlich in diesem Falle, sobald die Enden mit einer Stromquelle verbunden sind, auf der ganzen Länge mit Spannungsdifferenz nebeneinander und erhalten daher, ähnlich wie die beiden Belegungen einer Leidener Flasche, Ladungen, die auf langen Drähten beträchtlich sein können.

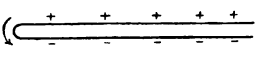

Fig. 51.

Durchfliefsen nun Wechselströme eine Leitung, welche Kapacität besitzt, so nehmen die Ladungen mit wachsender Stromstärke zu und umgekehrt; die el. Kraft setzt also nicht nur die Elektricitätsmenge in Bewegung, die der Ohm'schen Stromstärke entspricht, sondern noch andere Mengen.

Digitized by Google

Schematisch wird die Kapacität eines Stromleiters dargestellt, indem man seinen Widerstand (w) ohne Kapacität vom Strome durchflossen, neben ihn aber noch einen Kondensator gelegt denkt, der die Kapacität (K) besitzt, also durch die Spannung e eine Ladung $K \cdot e$ erhält[1]).

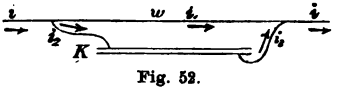

Fig. 52.

Nach aufsen erscheint dieses kombinirte System so, als ob es in jedem Augenblick einen Strom i gleich der Summe der beiden Ströme i_1 und i_2 leitete, die den Widerstand durchfliefsen und den Kondensator laden. Es ist also der Ausdruck für den Gesamtstrom $i = i_1 + i_2$ aufzustellen.

Man hat nun ohne Weiteres

$$i_1 = \frac{e}{w}.$$

i_2 wird durch die folgende Betrachtung gefunden. Wenn an den Enden die Spannung (die el. Kraft) e besteht, so besitzt der Kondensator eine Ladung $K \cdot e$. Ändert sich die el. Kraft um de, so wächst diese Ladung um $K \cdot de$. Geschieht dies in dem Zeitelement dt, so durchfliefst also in diesem Augenblick ein Strom von der Stärke $K \cdot de/dt$ die Kondensatorleitung. Also hat man in jedem Augenblick

$$i_2 = K \frac{de}{dt}.$$

Geometrische Darstellung. Diese Betrachtung geschieht direkter als die vorigen, denn wir können hier von der (fein ausgezogenen) Kurve

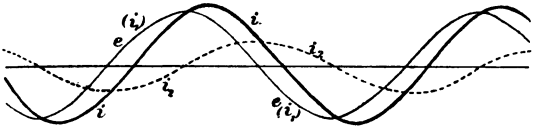

Fig. 53.

für die el. Kraft ausgehen. Dieselbe Kurve stellt auch den Stromteil i_1 vor. Der Kondensatorstrom i_2 ist da, wo die el. Kraft zeitlich ansteigt, positiv und umgekehrt. Die Zeiten seiner gröfsten Stärke liegen an den Stellen steilsten Abfalls, d. h. da, wo die Kurve der el. Kraft durch Null geht. Es komme so für den Kondensatorstrom die punktirte Kurve heraus. Der

1) Es ist freilich im Auge zu behalten, dafs dieses Schema den wirklichen Vorgang selten genau darstellt, denn die Ladung wird nicht an den Enden des Widerstandes angehäuft, sondern verteilt sich je nach den Umständen über denselben, so dafs auch der Ladungsstrom Widerstände überwinden mufs. Daher entsprechen auch die schematisch abgeleiteten Resultate der Wirklichkeit keineswegs so genau wie die für Selbstinduktion und Polarisation abgeleiteten. Eine bessere Übereinstimmung würde die Theorie erzielen, wenn sie auch der Zuleitung zum Kondensator einen Widerstand beilegte, was aber bisher nicht geschehen ist.

Digitized by Google

Gesamtstrom schliefslich ist in der starken Kurve überall als die algebraische Summe der Ordinaten der beiden genannten Kurven gezeichnet. Man sieht sofort, dafs er im Mittel verstärkt ist und dafs er der el. Kraft voreilt.

Analytische Ableitung. Nach dem Vorigen ist $i = i_1 + i_2 = e/w + K \cdot de/dt$. Setzen wir wieder $e = E \sin at$, so kommt

$$i = E\left(\frac{1}{w} \sin at + Ka \cos at\right). \qquad 7)$$

Auf die Form eines einfachen Sinus gebracht gibt dieser Ausdruck eine Phasenverschiebung φ, wo

$$\operatorname{tg} \varphi = Kwa \qquad \varphi = \operatorname{arc\,tg} Kwa$$

und dann $$i = E\frac{\sqrt{1 + K^2w^2a^2}}{w} \sin(at + \varphi), \qquad 7a)$$

wie sich wieder leicht beweisen läfst.

Der scheinbare Widerstand ist also $= \dfrac{w}{\sqrt{1 + K^2w^2a^2}}$, 8)

wofür bei kleinem φ auch gesetzt werden kann $w(1 - \frac{1}{2}\varphi^2)$. Es ist hier also Kwa der die Korrektionen bewirkende Ausdruck; die Beeinflussung durch die Kapacität wächst also mit der Schwingungszahl und dem Widerstande. Die Phasenverschiebung ist positiv; der Widerstand wird scheinbar verkleinert.

Die Betrachtung der drei Fälle hat also ergeben, dafs die Störungen grofs werden

durch die	Selbstinduktion,	Polarisation,	Kapacität,	
wenn die Schwingungen	rasch,	langsam,	rasch	sind,
wenn der Widerstand	klein,	klein,	grofs	ist.

Die Korrektionen in einem Zweig der Wheatstoneschen Brücke.

Hierauf sind diese für einen einfachen Stromkreis geltenden Resultate nicht ohne weiteres anzuwenden, weil für die entstehenden Phasenverschiebungen auch die Schwingungen in den anderen Zweigen in Betracht kommen. Vgl. über die Theorie Oberbeck 1. 1882; Lord Rayleigh 1. 1891; M. Wien 1. 1891 und 4. 1892. Enthält z. B. in einer Brücke, wo das Telephon an den Enden des Mefsdrahts liegt (Fig. 54), der Zweig w_1 eine Selbstinduktion vom Koefficienten S, während die anderen Zweige freie Widerstände sind, so liegt das Minimum des Ausschlages an einer Stelle, die von der richtigen Einstellung um eine Länge δ abweicht, welche durch den Ausdruck gegeben ist

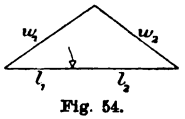

Fig. 54.

$\delta = l_2 \dfrac{S^2a^2}{(w_1 + w_2)^2 + S^2a^2}$, also wenn S klein ist, nahe $\delta = l_2 \dfrac{S^2a^2}{(w_1 + w_2)^2}$.

Ebenso gilt bei Polarisation in demselben Zweige

$\delta = l_2 \dfrac{P^2/a^2}{(w_1 + w_2)^2 + P^2/a^2}$, also wenn P/a klein ist, nahe $\delta = l_2 \dfrac{P^2}{a^2(w_1 + w_2)^2}$.

Digitized by Google

13. Widerstandsbestimmungen mit Gleichstrom.

I. Durch Differenzbeobachtungen zur Eliminirung der Polarisation.

Das Verfahren der Substitution im einfachen Stromkreise (Horsford, Wiedemann, Lenz u. A.) ist umständlich und weniger genau. Man kann aber auch in der Brücke arbeiten. Man verzweigt den Strom von 6 bis 10 Volt durch eine Brücke mit paarweise gleichen Zweigen. Zwei von diesen enthalten gleiche Drahtwiderstände Z, Z, der dritte einen konstanten Flüssigkeitswiderstand, der vierte einen Rheostaten und eine Flüssigkeitssäule in einem kalibrirten Rohr (vgl. § 11, II u. III), deren eine Elektrode verschiebbar ist. Alle vier ungefähr gleichen Elektroden bestehen aus platinirten Drahtspiralen, so dafs gasförmige Ausscheidungen entweichen können. Die geringe Flächengröfse läfst die Polarisation in ihrem konstanten Maximalbetrage auftreten.

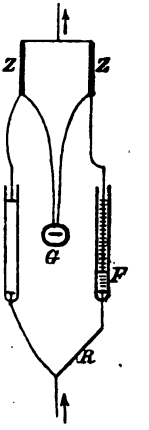

Fig. 55.

Mit dem Rheostaten stellt man zunächst auf Verschwinden des Stromes in dem Brückengalvanometer G ein. Dann wird die verschiebbare Elektrode um eine Strecke verschoben, deren Kapacität $= C$ sei; um die Stromlosigkeit der Brücke wiederherzustellen, sei die Aus- oder Einschaltung des Rheostatenwiderstandes w nötig. Dann ist $\varkappa = C/w$ das Leitvermögen der Flüssigkeit.

Die Methode hat keinen praktischen Wert mehr. Sie hat einesteils dazu gedient, die ersten Grundlagen für die Widerstandskapacität von Gefäfsen zu beschaffen (K. u. Grotrian 1875) und später, die Übereinstimmung der mit Gleichstrom und mit Wechselstrom erhaltenen Resultate zu prüfen (Tollinger 1877).

II. Mit verschwindender Polarisation.

Die Polarisation kann vernachlässigt werden, wenn sie gegen die den Strom erzeugende Spannung genügend klein ist. In Lösungen wie Zinksulfat mit amalgamirten abgekochten Zinkelektroden (du Bois-Reymond 1841) ist die Polarisation so gering, dafs man bei nicht zu kleinem Widerstande solche Leiter angenähert wie metallische messen kann, sobald man durch kurz dauernden Stromschlufs, Rühren etc. dafür sorgt, dafs die Koncentration an den Elektroden nicht geändert wird. Die erste, zugleich auf definirtes Widerstandsmafs (Quecksilber) bezogene Durchforschung der Lösungen eines Elektrolytes (Zink-

Digitized by Google

sulfat) ist so ausgeführt worden (Beetz 1862). Es sind wenige Körper, die man so untersuchen könnte. Dagegen kann man mittels poröser Gefäfse andere Flüssigkeiten in Zinklösungen einsetzen, sie durch kalibrirte Heberröhren überbrücken und so die Widerstände mit konstantem Strom bestimmen (Paalzow 1869).

III. Sehr grofse Widerstände ohne merkliche Polarisation.

Sind die Flüssigkeitswiderstände sehr grofs (100000 Ohm und mehr) und werden sie mit entsprechend starken elektromotorischen Kräften (100 Volt) zwischen Elektroden von hinreichender Flächengröfse (platinirtes Platin; § 5, I) behandelt, so kann man ebenfalls die Polarisation oft vernachlässigen und in gewöhnlicher Weise beobachten, am besten mit der Nullmethode der Brücke. Dadurch dafs die Brückenzweige ungleich gewählt werden, läfst sich umgehen, dafs Rheostatenwiderstände von gleicher Gröfse wie die zu messenden nötig sind. Verwendbar ist z. B. der Brückendraht mit Vorschaltung (§ 11, V); konstante Brückenzweige mögen im Verhältnis 1:10 oder bei sehr grofsen Widerständen auch 1:100 gewählt werden. Man schliefst den Strom womöglich nur kurze Zeit und wechselt, damit keine Anhäufung der Polarisationen stattfindet, bei der Wiederholung der Messungen die Richtung des Stromes zwischen den Elektroden.

Fehler können aber entstehen erstens durch Nebenschlüsse, die bei so grofsen Widerständen öfter merklich werden als man zu glauben pflegt, denn von 100000 Ohm bilden 10 Millionen schon 1 Procent. Man isolire die Leitungen also sorgfältig durch Unterlagen von Hartkautschuk, Paraffin, Glas, unter Umständen selbst unter die Tischbeine; beachte auch die Isolation der Stromschlüssel, welche man angreifen mufs. Ferner können statische Ladungen des Multiplikators, die sich mit den elektromagnetischen Kräften vermischen, merklich ablenkend auf die Nadel wirken. Am besten werden sie durch Ableitung eines Punktes des Multiplikators zur Gasleitung vermieden werden, doch mufs man dann in Bezug auf andere Nebenschlüsse noch vorsichtiger sein.

Bei dem kurzen Stromschlufs können auch durch Selbstinduktion und wegen der Gröfse der Widerstände besonders

Digitized by Google

durch Kapacität in der Leitung Fehler entstehen. Solche werden ausgeschlossen, wenn der Galvanometerzweig erst einen Augenblick nach den übrigen Zweigen geschlossen wird, bez. man kann sich durch dieses Mittel davon überzeugen, dafs solche Fehler nicht vorhanden sind und dann arbeiten wie gewöhnlich. Die Figur zeigt die Anwendung des zu diesem Zweck in der Brücke oft gebrauchten Doppel-Federschlüssels S; die schwarze Verdickung unter der zweitobersten Feder stellt einen Nichtleiter vor. Vgl. z. B. Kohlr. u. Heydweiller 1. 1894; Malmström 1896.

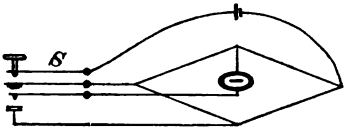

Fig. 56.

Auf gute Leiter ist dies Verfahren anwendbar, indem man durch die Anwendung von Kapillarröhren die Widerstände absichtlich sehr grofs macht. In sehr dünnen Kapillaren beachte man aber die Stromwärme.

Bei sehr schlechten Leitern, die unter Umständen von selbst die grofsen Widerstände ergeben, ist die Methode neben der elektrometrischen (§ 14) zuweilen die einzig anwendbare. In diesem Falle ist aber auf eine weitere Fehlerquelle hinzuweisen. Die spärlich vorhandenen Jonen werden durch die bedeutenden elektromotorischen Kräfte rasch verschoben, und die Flüssigkeit ändert sich hierdurch. Dergleichen Anderungen können sich sehr bemerklich machen und in wenigen Sekunden den Widerstand um viele Procente ändern. Jedenfalls schliefse man enge Röhren an weitere Gefäfse an, welche die Elektroden enthalten (vgl. u. a. Lehmann 1894; K. u. Heydweiller 2. 1895; Warburg 2. 1895).

Genäherte Bestimmungen kann man auch mit einer Batterie von bekannter elektromotorischer Kraft e (n gute Akkumulatoren haben durchschnittlich $n \times 2{,}05$ Volt) machen, die man durch den zu messenden grofsen Widerstand und einen sich rasch einstellenden Strommesser (Weston-Zeiger mit Teilung nach Milli-Ampere) schliefst. Der Widerstand des Strommessers heifse w_0, den der Elemente wird man vernachlässigen dürfen, dann ist $i = e/(w + w_0)$ oder

$$w = \frac{e}{i} - w_0.$$

Die Kapacität C durch w dividirt gibt das Leitvermögen.

Digitized by Google

14. Elektrometrische Methode (Fuchs 1875).

Leitet man durch einen Leiter einen Strom i und findet dabei an seinen Enden eine Spannung P, so ist sein Widerstand $= P/i$.

Eine an die Anordnung von Paalzow sich anschliefsende Form der Ausführung war die folgende (Bouty 1. 1884). Die zu bestimmende Flüssigkeit überbrückt in einem Kapillarrohr zwei ebenfalls mit ihr gefüllte poröse Gefäfse, welche in Zinksulfat-Lösung stehen. In letztere Flüssigkeiten wird der Strom i mittels Zinkelektroden eingeführt. Sekundäre (nicht gezeichnete) Elektroden führen, durch Heberröhren an dieselben angeschlossen, zu dem (Kapillar-) Elektrometer. In denselben Stromkreis i ist ein Normalwiderstand von gleicher Gröfsenordnung, Rheostat oder ein wie oben angeordnetes Rohr mit einer Normalflüssigkeit eingeschaltet.

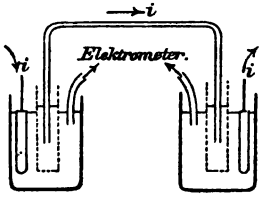

Fig. 57.

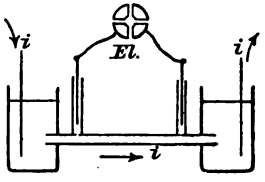

Fig. 58.

Die beiden Widerstände verhalten sich wie die Ausschläge des Elektrometers, wenn man dasselbe an beide Teile der Leitung anlegt. Aus dem Widerstande w und der Kapacität des Rohres C wird das Leitvermögen $\varkappa = C/w$ erhalten.

Das Verfahren ist umständlich, setzt die untersuchte Flüssigkeit leicht Verunreinigungen aus, und ihre Temperatur läfst sich nur mühsam oder ungenau bestimmen.

Etwas einfacher und wenigstens für ein Temperaturbad geeignet wird das Verfahren, wenn man die Zuleitung durch Zinksulfatlösung wegläfst, eine gröfsere elektromotorische Kraft anwendet, so dafs unter Anwendung von Drahtelektroden (§ 13, 1) ein konstanter Strom entsteht, und die sekundären Elektroden in Gestalt von seitlichen Fortsätzen des Rohres zwischen den Hauptelektroden herstellt, in welche platinirte Elektroden eintauchen. Eine kleine Polarisation der letzteren wird durch Stromwechsel eliminirt. In dieser Form ist die Methode auch zu absoluten Bestimmungen des Leitvermögens geeignet, wenn man das Rohr zwischen den feinen, zu den sekundären Elektroden leitenden Löchern ausgemessen hat (Rasehorn 1889). In einer ähnlichen Form hat sie zur Vergleichung der Messungen mit Wechselstrom und mit Gleichstrom gedient (Sheldon 1888).

Praktisch werden elektrometrische Methoden kaum noch anders gebraucht werden als für ganz schlechte Leiter, die man häufig schon zu den Isolatoren rechnet.

Digitized by Google

15. Bestimmung der Widerstandskapacität.

I. Normalflüssigkeiten von bekanntem Leitvermögen.

Mit der Gleichung $C = w \cdot \varkappa$ läfst sich die Widerstandskapacität C eines Gefäfses aus dem Widerstande w ermitteln, den die Füllung mit einer Flüssigkeit von bekanntem Leitvermögen $\varkappa$ gibt.

Die folgenden Flüssigkeiten (vgl. Kohlr., Holborn u. Diesselhorst 1898) sind unschwer mit gleichem Leitvermögen zu reproduciren. Der gröfsere Teil von ihnen läfst sich auch leicht ungeändert aufbewahren; es sind dies diejenigen, welche, wie $MgSO_4$, H_2SO_4 und nahe auch gesättigte NaCl-Lösung, bei der betreffenden Koncentration ein Maximum des Leitvermögens haben, so dafs die durch Verdunstung etc. entstehenden kleinen Gehaltsänderungen das Leitvermögen nicht merklich beeinflussen. Daraus, dafs auf die genaue Koncentration nichts ankommt, entsteht zugleich der Vorteil, dafs diese Flüssigkeiten leicht hergestellt werden können, z. B. ganz genügend genau nach dem, mit einer Mohr'schen Wage oder einer Senkwage (Skalenaräometer) bestimmten specifischen Gewicht.

Am raschesten mischt man die gewünschte Lösung aus einer stärkeren Lösung und Wasser in einem hohen Glase, in welchem während des Mischens zugleich eine etwa vom spec. Gewicht 1 bis 1,3 reichende Senkwage schwimmen kann. Es genügt, wenn deren (richtige!) Skale die dritte Decimale des spec. Gewichtes noch genähert schätzen läfst.

Tabellen für das Leitvermögen der Normalflüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen s. Tab. 13.

1) Maximal-Schwefelsäure. 30 Gewichtsprocente H_2SO_4; $s_{18} = 1{,}223$.

Unter der Annahme, dafs die Originalsäure 97 % enthält, sind 378 gr oder 206 ccm derselben mit Wasser auf 1 Liter zu verdünnen. Man gieſst bekanntlich die Säure langsam zum Wasser, nicht umgekehrt, und kühlt die Mischung.

Ist das sp. Gewicht um δ zu grofs ausgefallen, so setze man zu M gr bez. V ccm der Flüssigkeit $4{,}1\,M \cdot \delta$ bez. $5{,}0\,V \cdot \delta$ gr Wasser; ist es um ε zu klein, $1{,}8\,M \cdot \varepsilon$ bez. $2{,}2\,V \cdot \varepsilon$ gr H_2SO_4.

Käufliche „reine" Schwefelsäure wird man als genügend rein für diesen Zweck ansehen dürfen.

Digitized by Google

$\varkappa_{max,\,18} = 0{,}7398$ wird durch einen Fehler des spec. Gewichts von 0,005 um etwa 0,0004 kleiner.

2) Maximal-Magnesiumsulfatlösung von 17,4 Gew.-Proc. $MgSO_4$; sp. Gew. bei 18° gleich 1,190. Man löse 552 gr trockenes, nicht verwittertes Bittersalz ($MgSO_4 + 7H_2O$) in 1000 ccm d. h. 998 scheinbaren Gramm Wasser; oder auch man löse 424 gr Bittersalz zu 1 Liter der Lösung auf. Ist das spec. Gewicht der Lösung um den Betrag δ zu grofs ausgefallen, so setze man zu M gr bez. V ccm der Lösung $4{,}8\,M\cdot\delta$ bez. $5{,}7\,V\cdot\delta$ gr Wasser zu. Ist es um ε zu klein, so werden in M gr bez. V ccm noch $2{,}1\,M\cdot\varepsilon$ bez. $2{,}5\,V\cdot\varepsilon$ gr Bittersalz gelöst.

Käufliches Magnesiumsulfat („purissimum") wird man meistens ohne Weiteres anwenden dürfen. Zur gröfseren Sicherheit kann man umkrystallisiren, d. h. eine heifsgesättigte Lösung herstellen, heifs filtriren, das Filtrat kalt stellen, dann die Krystalle im Scheidetrichter (etwa einem Trichter mit einem an die Wand angelehnten Glasstab) abtropfen lassen und schliefslich mit Fliefspapier abtrocknen.

Das Leitvermögen $\varkappa_{max,\,18} = 0{,}04922$ wird durch einen Fehler des spec. Gewichts von 0,003 um etwa 0,00001 vermindert.

3) Gesättigte Chlornatrium-Lösung. In 1 Liter Wasser löst sich, von der Temperatur sehr wenig beeinflufst, eine Menge von 360 gr NaCl. Eine solche gesättigte Lösung (26,4 %) hat ein von der Koncentration wenig abhängiges Leitvermögen. Zu ihrer Herstellung bringe man also mit Wasser die hinreichende Menge Chlornatrium zusammen, auf das Liter vielleicht 450 gr, damit ein reichlicher Überschufs bleibt. Einen Teil des Salzes zerreibt man fein und fügt ihn erst dann zu der Lösung, wenn dieselbe schon nahe gesättigt ist. Durch Schütteln und zur Vorsicht noch etwas Erwärmen entsteht dann bald die volle Sättigung.

Käuflich „reines" Chlornatrium ist meist verunreinigt. Zuweilen riecht dasselbe nach freier Säure. Jedenfalls erhitze man also das Salz vor dem Gebrauch. Eine weitere Reinigung wird kaum nötig sein; eine kleine Verunreinigung durch Natriumsulfat, Chlormagnesium oder dgl. beeinflufst das Leitvermögen kaum. Umkrystallisiren mufs hier durch Eindampfen einer gesättigten filtrirten Lösung geschehen.

Alsdann wird das Leitvermögen der gesättigten Lösung $\varkappa_{18} = 0{,}2161$ auf $^1/_{1000}$ als sicher angenommen werden können.

4) Normal-Chlorkalium-Lösung, d. h. 74,59 gr KCl in 1 Liter Lösung von 18°. Spec. Gewicht bei 18° 1,04492. $\varkappa_{18} = 0{,}09822$. Es werden, in Luft gewogen, 74,555 gr KCl zu 1 Liter Lösung bei 18° (auf $\pm 1°$ Temperatur ist das Volumen um $\pm 0{,}3$ ccm gröfser zu nehmen) aufgelöst oder auch 71,422 gr KCl zu 1000 gr Lösung, in Luft gewogen, oder 76,727 gr in 1 Liter Wasser von 18°. Das spec. Gewicht als Kontrole mufs sehr genau bestimmt sein, da einer Einheit der 4. Decimale zwei Promille Fehler entsprechen.

Das käuflich reine Salz wird, wenn es eine nur mäfsige Gelbfärbung

Digitized by Google

der Bunsenflamme zeigt und keine erhebliche Reaktion auf Schwefelsäure zeigt, mit einem möglichen Fehler von etwa $^1/_{1000}$ verwendet werden können. Umkrystallisiren aus heifs gesättigter Lösung mit einer Ausbeute von etwa 40% macht keine Schwierigkeit.

Vor dem Abwägen erhitzt man das Salz zu starker Glut und kühlt im Exsikkator. Hygroskopisch ist das Salz aber wenig, so dafs die Abwägung einfach ist.

5) Zehntel-Normal-Chlorkaliumlösung. Man löst, in Luft gewogen, 7,455 gr zu 1 Liter oder 7,430 gr zu 1000 gr Lösung. Oder man verdünnt 100 ccm Normallösung auf 1000 ccm. Es ist $\varkappa_{18} = 0{,}01119$.

6) Fünfzigstel- und Hundertel-Normal-Chlorkaliumlösung. Das Abwägen von 1,4860 bez. 0,7430 gr wird umständlicher. Verdünnen nach den Volumverhältnissen 1 : 50 bez. 1 : 100 aus normaler oder 1 : 5 bez. 1 : 10 aus zehntel-normaler Lösung ist der gewöhnliche Weg. $\varkappa_{18} = 0{,}002397$ bez. 0,001225.

7) Gesättigte Gypslösung. Diese ist für kleine Kapacitäten geeignet und bietet den Vorteil, keiner Wägung zu bedürfen. Die Fehlergrenze wird bei der Anwendung reinen Gypses einige Promille betragen, aber auch bei käuflichem Gyps, wenn man gut auswäscht, innerhalb 1% bleiben. Man pulvert einige Gramm Gyps fein, wobei ein Krystall (Marienglas) am besten auf einem kleinen Reibeisen behandelt und das Abgeriebene in einem reinen Porzellanmörser weiter zerrieben wird. In einem Fläschchen aus gutem Glase übergiefst man das Pulver ein- oder zweimal unter Aufschütteln mit etwas reinem Wasser, welches nachher abgegossen oder abgehebert wird; vgl. Fig. 64, § 28. Alsdann gibt man einen neuen Aufguſs von der nötigen Menge Wasser, schüttelt alsbald einige mal auf, läfst dann aber das Pulver gröfstenteils absitzen und giefst die überstehende mäfsig trübe Flüssigkeit in das zu bestimmende Widerstandsgefäfs. Eine mäfsige Trübung beeinflufst das Leitvermögen nicht merklich; allerdings mufs man das Absetzen von Pulver in engen Verbindungen vermeiden.

War man nicht sicher, dafs die Substanz hinreichend ausgewaschen war, so wiederholt man das Verfahren mit einem neuen Aufguſs. Da bei der nicht unbeträchtlichen Löslichkeit des Gypses die feinen Teile in der Flasche bald verbraucht sein werden, so ist es, damit die Sättigung sicher erzielt wird, gut, das feine Pulver aus dem Gefäfse nicht mit fortzugiefsen, sondern nur die Flüssigkeit abzuhebern.

Als Leitvermögen gilt

bei	15	16	17	18	19	20	21°
$\varkappa =$ 0,00	1742	1791	1841	1891	1940	1990	2039

Für die verdünnten Lösungen 6 und 7 ist die Reinheit des lösenden Wassers (§ 22 IV) von Bedeutung. Man hat zu den obigen Zahlen das Leitvermögen dieses Wassers zu addiren, wobei vorausgesetzt wird, dafs

Digitized by Google

das ursprüngliche Leitvermögen eine mäfsige Gröfse (etwa $5 \cdot 10^{-6}$) nicht überstieg.

Das Umgiefsen, Aufbewahren etc. dieser verdünnten Lösungen soll mit der nötigen Vorsicht geschehen.

II. Bestimmung der Widerstands-Kapacität C eines Gefäfses mittels einer Normalflüssigkeit.

C ist der Widerstand, welchen das Gefäfs bei der Füllung mit einer Flüssigkeit vom Leitvermögen $\varkappa =$ Eins zeigen würde. Vgl. § 2.

Ergibt die Füllung mit einer Flüssigkeit vom Leitvermögen $\varkappa$ den Widerstand w Ohm, so ist die Kapacität

$$C = \varkappa \cdot w.$$

Genaue Bestimmungen haben zu berücksichtigen, dafs der Zuleitwiderstand γ (§ 8) entweder hinreichend klein gegen den gemessenen Widerstand w sein, oder dafs er gegen letzteren in Rechnung gesetzt werden mufs. Genau ist also zu setzen

$$C = \varkappa \cdot (w - \gamma).$$

Zur Auswahl von Normalflüssigkeiten (§ 15 I und Tab. 13) für telephonische Messung kann, in der Annahme, dafs Widerstände von 50 bis 2000 Ohm geeignet sind, die folgende Zusammenstellung dienen:

Maximalschwefelsäure	etwa	von	$C = 40$	bis	1500
Gesättigte Chlornatriumlösung	„	„	10	„	400
Normal-Chlorkaliumlösung	„	„	5	„	200
Max.-Magnesiumsulfatlösung	„	„	3	„	100
$^1/_{10}$ Normal-Chlorkaliumlösung	„	„	0,5	„	20
$^1/_{50}$ dergl. oder gesätt. Gypslösung	„	„	0,1	„	4
$^1/_{100}$ dergl.	„	„	0,05	„	2

Sollen die Widerstände zwischen 100 und 1000 Ohm liegen, was vorzuziehen ist, so sind die Zahlen der ersten Reihe zu verdoppeln, die der zweiten zu halbiren, also z. B. Normal-KCl-Lösung von 10 bis 100.

III. Bestimmung mittels eines bekannten Gefäfses.

Man füllt das zu bestimmende und das bekannte Gefäfs mit derselben Flüssigkeit, stellt sie in dasselbe Bad und vergleicht ihre Widerstände miteinander. Die Flüssigkeit wird so

Digitized by Google

gewählt, dafs sie geeignete Widerstände (etwa 100 bis 2000 Ohm) gibt. Lösungen von Kaliumbisulfat für gröfsere Kapacitäten, von Borsäure mit Mannit (s. S. 37) für kleinere, haben den Vorteil geringer Abhängigkeit von der Temperatur. Für sehr verdünnte Lösungen wird man der Absorption an den Elektroden wegen (§ 17) neutrale Salze verwenden. Leitungswasser ist bei Gefäfsen von kleiner Kapacität als einfachstes Hilfsmittel oft genügend.

Die Kapacitäten verhalten sich dann wie die Widerstände:

$$C : C_0 = w : w_0$$

oder wenn die Zuleitwiderstände γ und γ_0 berücksichtigt werden müssen,

$$\frac{C}{C_0} = \frac{w-\gamma}{w_0-\gamma_0} = \frac{w}{w_0}\left(1 - \frac{\gamma}{w} + \frac{\gamma_0}{w_0}\right).$$

w/w_0 ist, wenn die Vergleichung direkt mit der Drahtbrücke gemacht wird, einfach das Verhältnis der (korrigirten, S. 49) beiderseitigen Drahtlängen; die absoluten Werte von w und w_0 brauchen nur genähert für die Zuleitungskorrektionen bekannt zu sein.

Falls eine Auswahl von bekannten Gefäfsen freisteht, nimmt man natürlich dasjenige oder zur Kontrole diejenigen, deren Kapacität der zu messenden am nächsten kommt, weil die Einstellungsfehler an der Brücke einen um so gröfseren Einfluſs haben, je mehr das Verhältnis von 1 abweicht, z. B. bewirkt bei dem Verhältnis 1:10 eine Unsicherheit von 0,1 T. Str. eine relative Unsicherheit von $^1/_{900}$ im Resultat (vgl. S. 43).

IV. Bestimmung von C durch Ausmessen,

nach der Regel, dafs die Widerstandskapacität eines prismatischen Raumes von der Länge l cm und dem Querschnitt f cm² oder dem Volumen v ccm beträgt:

$$C = \frac{l}{f} = \frac{l^2}{v}.$$

Das Volumen v wird durch Auswägen mit Wasser oder bei kleinen Räumen mit Quecksilber bestimmt. Über ein genaues Verfahren s. z. B. Kohlr., Holborn u. Diesselhorst (1898).

Die Formel setzt voraus, dafs die Stromfäden überall der Axe des Prismas parallel laufen. Um sie auf ein Rohr mit

Digitized by Google

Elektroden als Ganzes anzuwenden, müfsten diese den Querschnitt genau ausfüllen. Praktisch wird aber wohl nur der Fall vorkommen, dafs lose Elektroden in einem Rohr verschiebbar sind. Dann gelten die Formeln für die Widerstandskapacität einer Strecke l, um welche eine Elektrode verschoben wird, vorausgesetzt, dafs auch bei dem kleinsten angewandten Abstande sich in irgend einem Querschnitt parallele Stromfäden ausbilden.

Ist der Raum nicht genau prismatisch, sondern konisch mit den Endquerschnitten f_1 und f_2, so ist $C = l/\sqrt{f_1 f_2}$.

Hat das Rohr einen unregelmäfsig wechselnden Querschnitt, so mufs man die Strecke in mehrere, hinreichend genau cylindrische oder konische Stücke geteilt denken und deren einzeln berechnete Kapacitäten addiren. Vgl. z. B. K., Leitfaden § 71 f.

V. Kalibrirung eines U-Gefäfses mit veränderlicher Kapacität. Vgl. § 6, IV und Fig. 17 u. 44.

Die krumme Strecke mufs empirisch kalibrirt werden. Ein den gewöhnlichen Verhältnissen angepafstes Beispiel mit Zahlen wird das Verfahren am übersichtlichsten darstellen.

Angenommen, es sollen zunächst die beiden gleich hohen Stellungen der Elektroden gesucht werden, zwischen denen die Kapacität C_0 ist [beispielsweise $C_0 = 10$ cm^{-1}]. Man nimmt Maximal-Magnesiumsulfatlösung (S. 76), deren Leitvermögen nach Tab. 13 bei der Temperatur des Bades, in welches das U-Rohr gehängt ist, $= \varkappa$ sei [für 18,00° $\varkappa = 0{,}04922$]. Man schaltet nach S. 36, Fig. 31 bez. 31a oder nach S. 52, Fig. 42 bez. 43, zieht im Rheostaten den Widerstand $C_0/\varkappa$ Ohm [also 10/0,04922 = 203,2 Ohm] und stellt die beiden Elektroden in gleicher Höhe so ein, dafs der Widerstand der Flüssigkeit diesen Wert $C_0/\varkappa$ Ohm [203,2 Ohm] hat. Dann kommt dieser Elektrodenstellung die Kapacität C_0 [$= 10$] zu.

Auch ohne einen Rheostaten mit beliebig herzustellendem Widerstand kann man dies ausführen, wenn ein Stück von 200 Ohm gegeben ist. Man wählt dann die Temperatur des Bades so, dafs $\varkappa = 0{,}05000$ ist, d. i. 18,63°.

Gerade so kann eine Strecke von irgend einer anderen Kapacität empirisch festgelegt werden; für die Kapacität 20 z. B. wird man unter Anwendung von Magnesiumsulfat bei 18°

Digitized by Google

den Widerstand 20/0,04922 = 406,3 Ohm zu nehmen haben oder bei 18,63° genau 400 Ohm. Auch gesättigte Chlornatriumlösung mit einem Widerstand von 20/0,2161 = 92,5 Ohm bei 18° oder 20/0,2000 = 100,0 Ohm bei 14,70° ist auf diese gröfseren Kapacitäten anzuwenden, während bei den kleineren das Tonminimum mangelhaft werden kann.

Also nachdem die Punkte, zwischen denen die Kapacität $C_0 = 10$ war (an welche Punkte je die Zahl 5 zu schreiben ist), festgelegt sind, lasse man etwa die linke Elektrode ruhig stehen, verschiebe die rechte, bis die Kapacität = 20 wird und schreibe an diesen Ort die Zahl 15. Nun läfst man rechts stehen, verschiebt links bis zur Kapacität 30 und schreibt auch dahin 15. Dann geht man wieder rechts vorwärts bis $C = 40$, sodann links bis 50; an diese Punkte kommen die Zahlen 25 u. s. w.

Statt der hier angenommenen Folge können natürlich an die beiden Punkte 5 gleich die beiden 25 angeschlossen werden, falls das Rohr cylindrisch ist; oder man kann umgekehrt noch andere einschieben, z. B. die beiden Punkte 10 und 20.

Kalibriren durch Ausmessen. Sobald eine Strecke, innerhalb deren die Krümmung liegt, bestimmt ist, so genügt weiterhin auch die Messung des Querschnitts f und der Länge l. Der Querschnitt kann am einfachsten an dem noch nicht gebogenen, am einen Ende zugeschmolzenen Rohre durch Auswägung mit Quecksilber bestimmt worden sein, wobei man zugleich feststellt, ob das Kaliber hinreichend gleichmäfsig ist. Die Ausführung (vgl. auch § 16, IV) ist ohne weiteres klar. 1 gr Quecksilber, in Luft gewogen, hat bei 18° das Volumen 0,07379 ccm (über andere Temperaturen s. Tab. 10). Wiegt eine Quecksilbersäule von h cm Länge m gr, so ist, da ihr Volumen $0{,}07379 \cdot m$ ccm beträgt, der Querschnitt des Rohres in dieser Gegend also $f = 0{,}07379\, m/h$ cm².

Eine Strecke l, welche die Widerstandskapacität C haben soll, beträgt dann $l = C \cdot f$ cm.

Will man die Elektroden immer nur in gleich hohen Stellungen anwenden, so kann man aber auch, ein nahe gleiches Kaliber links und rechts vorausgesetzt, die Kalibrirung der geraden Schenkel links und rechts zusammen an dem bereits gebogenen Rohre ausführen. Zu dem Zwecke füllt man das Rohr zunächst bis zu den vorher ermittelten Punkten, zwischen denen die Widerstandskapacität $= C_0$ war, mit Quecksilber. Auf dieses fülle man eine gewogene Menge m gr Quecksilber, deren Volumen also $0{,}07379 \cdot m$ ccm beträgt. Das Rohr sei dabei fest eingeklemmt, so dafs auf beiden Seiten die Steighöhe gleich grofs ist; dieselbe betrage l cm. Dann haben also zwei Elektroden am Orte der

Digitized by Google

jetzigen Oberflächen zwischen sich die Kapacität $C_0 + \frac{4l^2}{0{,}07379 \cdot m}$.

Hat das Rohr einen gleichmäfsigen Querschnitt, so genügt es, aufser den Punkten p_l und p_r, zwischen denen die Kapacität $C_0 = 10$ bestimmt wurde, noch zwei, an den oberen Enden der beabsichtigten Teilung liegende Punkte in der beschriebenen Weise festzulegen, z. B. je einen höheren Punkt P_r rechts und P_l links so, dafs von p_l bis P_r sowie von p_r bis P_l die Kapacität $= 40$ ist. Dann gilt für P_l bis P_r die Kapacität 70 und beide Punkte erhalten die Zahl 35. Schliefslich wird jedes Intervall links wie rechts in 30 gleiche Teile (bez. noch Unterabteilungen) eingeteilt und in leicht ersichtlicher Weise beziffert.

Ist der Querschnitt nicht konstant, so müssen, je nach dem Grade der Ungleichmäfsigkeit des Querschnitts noch ein zwischenliegendes Paar von Punkten oder deren mehrere gemessen und die einzelnen Strecken jede für sich geteilt werden.

Ebenso verfährt man, wenn die Einteilung bereits gegeben ist und geprüft werden soll. Prüft man die geraden Teile der Röhre durch Auswägen, so ist die Summe l der beiderseitigen Höhen in cm ausgedrückt, in die obige Formel einzusetzen. Der Unterschied des hiermit berechneten Wertes gegen den von der Teilung angegebenen Wert der Kapacität gibt die Korrektion, welche an dem letzteren anzubringen ist.

Einfacher aber wird es hier sein, für alle Strecken die Kapacität empirisch durch Widerstandsmessung zu bestimmen.

Kalibrirung nach einem Normalgefäfs.

Ein Fabrikant wird sich am besten ein Normal-U-Gefäfs I herstellen oder aichen lassen; dieses und das zu bestimmende oder zu prüfende U-Gefäfs II füllt man dann mit derselben Lösung (etwa von Bittersalz; auf die Koncentration kommt es hierbei nicht an, nur dürfen die Widerstände nicht zu grofs oder zu klein werden). Durch Einsenken beider Gefäfse nebeneinander in das nämliche Wasserbad von Zimmertemperatur werden die Temperaturen gleich gemacht. Die Gefäfse werden nun gerade wie zwei zu vergleichende Widerstände mit dem Telephon in eine Mefsverzweigung mit gleichen Zweigen (Brücke § 11, II, oder Differentialinduktor § 11, IX) geschaltet. Brückendraht oder Rheostat sind nicht nötig.

Man stellt nun die Elektroden des Normalrohrs etwa jede auf 5 und sucht dann im Rohre II zwei, in beiden Schenkeln gleich hohe, Stellungen, in denen die Elektroden den Ton zum Verschwinden bringen; die beiden Stellen werden markirt und erhalten später ebenfalls die Be-

Digitized by Google

zifferung 5. Nun läfst man beide linke Elektroden stehen, geht mit den rechten hinauf, etwa auf Strich 15 im Normalrohr, und sucht die entsprechende Stellung in II, an der das Telephon schweigt. Ebenso dann auf Strich 25 und 35. Schliefslich verfährt man mit den linken Elektroden geradeso, wobei man die rechten auf den Strichen 5 stehen läfst.

Es genügt zu diesem Verfahren aufser dem Telephon entweder ein Differentialinduktor (§ 11, IX) oder ein kleiner käuflicher Induktionsapparat nebst zwei gleichen Verzweig-Widerständen. Die letzteren kann man sich selbst herstellen, indem man ein Stück von einigen (etwa 6) Metern eines gut besponnenen etwa $^1/_5$ mm dicken Neusilber- oder Manganindrahtes (auch Kupfer genügt zur Not, nur sei der Draht alsdann dünner oder länger) mitten durchschneidet und beide Stücke sorgfältig miteinander auf ein Holzröllchen aufwickelt. Ein Ende je eines Drahtes wird zu einer und derselben Klemme k_0 geführt; die beiden anderen Enden zu zwei gesonderten Klemmen k_1 und k_2.

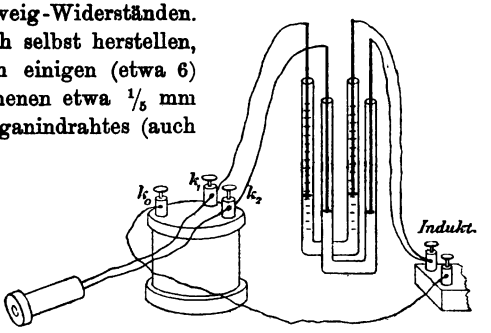

Fig. 59.

Einen Pol des Induktors verbindet man mit der Klemme k_0, an k_1 und k_2 kommt das Telephon zu liegen; Fig. 59. Aufserdem verbindet man k_1 und k_2 durch gleiche biegsame Kabelchen mit je einer Elektrode beider Gefäfse und die andern beiden Elektroden ebenfalls durch gleiche Kabel mit dem anderen Induktorpol. An den Selbstunterbrecher des Induktors kommt ein Akkumulator oder Daniell- oder Flaschen-Element. Dafs die beiden Drahtwiderstände gleich sind, prüft man z. B., indem man die beiden Verbindungen der U-Gefäfse mit den freien Enden dieser Widerstände austauscht; die zum Schweigen des Telephons nötigen Einstellungen müssen nachher die gleichen sein wie vorher.

Bei Anwendung des Differentialinduktors wird die Anordnung entspr. Fig. 42. 43 S. 52 noch einfacher. Der eine Telephondraht kommt an den gemeinschaftlichen Pol der beiden Induktorwindungen; an die nicht gemeinschaftlichen Pole legt man mittels gleicher Kabelchen je eine Elektrode beider Gefäfse. Die anderen Elektroden verbindet man beide mit dem zweiten Telephondraht. Die Richtigkeit des Differentialinduktors prüft man durch Vertauschung der Gefäfse gegen die freien Induktorpole.

Unabhängige Messung des Leitvermögens mit einem U-Gefäfs. Indem man eine Elektrode ruhig läfst und die andere in ihrem geraden, durch Auswägung kalibrirten Schenkel um eine Strecke h verschiebt, erhält man, von einer Normalflüssigkeit unabhängig, das Leitvermögen $\varkappa = \frac{h}{f}\frac{1}{w_1 - w_2}$, wo f den Querschnitt, w_1 und w_2 die nach § 11 II, IV oder IX bestimmten Widerstände in beiden Stellungen bedeuten.

Digitized by Google

Lösungen.

16. Koncentration.

I. Verschiedene Definitionen. Umrechnungsformeln.

Koncentration (Stärke, Gehalt) der Lösung eines Stoffes ist allgemein die Stoffmenge, die in einem Teile — oder zur Bequemlichkeit auch wohl in 100 oder 1000 Teilen — gelöst ist. Die Menge, in welcher gelöst wird, wird nun ganz verschieden gerechnet; man nimmt nämlich entweder die Einheit des Lösungsmittels oder die der Lösung selbst und kann ferner sowohl nach Volum- wie nach Massenteilen rechnen. Hinzu kommt noch, dafs der gelöste Körper einerseits, so wie andrerseits auch wohl das Lösungsmittel oft nicht nach gewöhnlichen Masseneinheiten (Gramm), sondern nach chemischen Molekülen oder Äquivalenten gezählt wird, so dafs eine grofse Mannigfaltigkeit von Definitionen der Koncentration im Gebrauch ist.

Wir wählen sowohl für den gelösten Elektrolyt wie für die Lösung die Gröfsen, welche für die Elektricitätsleitung bestimmend sind, und betrachten als dasjenige, worin der Körper gelöst ist, das Volumen der Lösung, und zwar dem Gebrauche in der Elektricitätslehre entsprechend, in ccm gemessen[1]). Wir rechnen ferner die gelöste Menge nach der Einheit, die das elektrische Verhalten des Elektrolytes bestimmt, nämlich nach chemischen Äquivalenten, und zwar nach gr-Äquivalenten.

Koncentration oder „Äquivalent-Koncentration“ (η)

---

1) Das Kubikcentimeter gibt freilich für die Koncentration im allgemeinen etwas unbequem kleine Zahlen, aber dieser Nachteil wird dadurch aufgewogen, dafs die übersichtlichste Gröfsenart, das Äquivalentleitvermögen sich dann in der bequemsten Gröfse darstellt; vgl. S. 4 und 101.

Digitized by Google

einer Lösung nennen wir also die Anzahl Gramm-Äquivalente, die sich in 1 ccm der Lösung befinden. gr-Äquivalent eines Körpers heifst sein chemisches Äquivalentgewicht, in Grammen ausgedrückt.

Über Molekül und Aquivalent s. S. 4. Es sei nur gleich hier bemerkt, dafs wir die Atomgewichte immer auf Sauerstoff = 16,00 beziehen. Die Atom- etc. Gewichte aus älteren Tabellen, die sich auf „Wasserstoff = 1" gründen, sind durchschnittlich wohl um etwa $^1/_{400}$ zu vergröfsern, um den unsrigen zu entsprechen.

Wird, wie hier, die Lösung selbst nach Volumen gemessen, so mufs man oft berücksichtigen, dafs die Volumina durch Auflösung oder Mischung, und bei genauen Bestimmungen sogar, dafs sie durch die Temperatur eine Änderung erfahren. Diese Unbequemlichkeit besteht nicht bei der Definition nach Massenverhältnissen. In der Elektrochemie hat jedoch die Definition nach Volumen andere so grofse Vorteile, dafs sie meist angewandt wird.

Das Wort „Normallösung" soll seine in der Chemie gebräuchliche Bedeutung behalten, also eine Lösung bezeichnen, die 1 gr-Äqu. im Liter enthält. Eine solche besitzt also in unserem Sinne die Koncentration $\eta = 0{,}001$.

Den reciproken Wert der Koncentration, d. h. also dasjenige Volumen der Lösung, in welchem die Einheit des Stoffes gelöst ist, nennt man die „Verdünnung" (φ) der Lösung. Eine Normallösung hat also eine Verdünnung $\varphi = 1000$.

Definitionen der Koncentration und Bezeichnungen.

[Die Bezeichnungen, welche sich auf Koncentrationen, gerechnet auf die Einheit des Lösungsmittels beziehen, sind steil geklammert.]

Eine Lösung enthalte:

p gr in 1 gr der Lösung, also stets $p < 1$;
$[p]$ gr auf 1 gr des Lösungsmittels;
P Gewichtsprocente;
q gr in 1 ccm der Lösung;
$[q]$ gr auf 1 ccm des Lösungsmittels;

Digitized by Google

Q gr in 1 Liter Lösung;
η gr-Äqu. in 1 ccm der Lösung;
m gr-Äqu. in 1 Liter Lösung nach alter Bezeichnung;
$[\eta]$ gr-Äqu. auf 1 gr des Lösungsmittels;
$[\gamma]$ gr-Äqu. auf 1 gr-Äqu. des Lösungsmittels;
φ sei die „Verdünnung" in ccm/gr-Äquivalent,
v diejenige in Liter/gr-Äqu. nach alter Bezeichnung.

Weiter sei auf Wasser von 4° bezogen:

s das spec. Gewicht der Lösung;
$[s]$ das spec. Gewicht des Lösungsmittels.

Endlich bedeute

A das Äqu.-Gewicht des gelösten Körpers;
$[A]$ das Äqu.-Gewicht des Lösungsmittels.

Nimmt man A und $[A]$ für die Molekulargewichte, so bedeuten η, $[\eta]$, $[\gamma]$, m die entsprechenden Gehalte etc. in gr-Molekülen.

Zum Umrechnen der Koncentration aus der einen in die andere Bezeichnungsweise dienen die folgenden Formeln. Zunächst natürlich

$$p = \frac{P}{100} \qquad q = \frac{Q}{1000} \qquad \eta = \frac{m}{1000}.$$

Ferner: $q = ps$ $\quad p = \frac{q}{s}$ $\quad \eta = \frac{q}{A}$ oder $= \frac{ps}{A}$;

$$p = \frac{[p]}{1+[p]} \qquad q = \frac{s \cdot [q]}{[s]+[q]}.$$

$$\eta = \frac{s \cdot [\eta]}{1+A \cdot [\eta]} \text{ oder } \eta = \frac{s \cdot [\gamma]}{[A]+A \cdot [\gamma]}$$

$$v = \frac{1}{m} = \frac{1}{1000\,\eta} \qquad \eta = \frac{1}{1000\,v}.$$

Aus der Verdünnung v erhält man, wenn dieselbe sich auf zweiwertige gr-Moleküle bezieht,

$$m = \frac{2}{v} \qquad \eta = \frac{2}{1000\,v}.$$

II. Herstellung von Lösungen bekannter Koncentration.

Durch Abwägen. Tab. 12 gibt, nach einer Zusammenstellung von Mylius, für die gebräuchlichen, krystallisirt käuf-

Digitized by Google

lichen einfach gesättigten Salze, welche aus der Verbindung des oben verzeichneten Metalles mit dem nebengenannten Säurebestandteil entstehen, auf 1 Molekül der wasserfreien Verbindung die Anzahl Wassermoleküle an, mit welchen die Krystalle bei etwa 18° gegen eine gesättigte wässrige Lösung den stabilen Zustand haben. Ist ein Präparat bei gewöhnlicher Temperatur umkrystallisirt, so kann man also diesen Wassergehalt als ziemlich sicher ansehen. Die römischen Zahlen geben die chemische Wertigkeit des Metalls bez. des Säurebestandteils an, wodurch die Formel des Salzes bestimmt ist. Danach sind also die Formeln z. B. $NaC_2H_3O_2 + 3H_2O$, $BaCl_2 + 2H_2O$, $Na_2CrO_4 + 10H_2O$, $MgSO_4 + 7H_2O$. Die Buchstaben bedeuten: f feuerbeständig, l luftbeständig, v verwitternd, z zerfliefslich.

Über Reduktion von Wägungen auf den leeren Raum vgl. z. B. Kohlr., Leitfaden, § 11.

Durch Analyse. Mittels Wägung oder räumlicher Abmessung wird eine bestimmte Menge der (vorher geschüttelten) Lösung abgesondert. Gewicht durch specifisches Gewicht gibt das Volumen; Pipetten, die nicht trocken sind, spült man mit der Lösung vor. Ist die Pipette auf Trockeninhalt geaicht, was natürlich die genaueren Resultate gibt, so spült man die anhängende Lösung mit etwas aufgesogenem oder aus der Spritzflasche eingeblasenem Wasser zu der ausgeflossenen.

Die Gehaltsbestimmung geschieht nach Umständen direkt durch Eindampfen oder durch Ausfällen.

Über die dabei anzuwendenden Verfahren vgl. z. B. Fresenius, Quantitative chem. Analyse.

Aus dem specifischen Gewicht der Lösung. Für die meisten Körper existiren Tabellen[1]) über den Zusammenhang zwischen Gehalt und specifischem Gewicht der Lösung. Aus dem letzteren läfst sich hiernach der Gehalt entnehmen. Je weniger sich das spec. Gewicht von 1 unterscheidet d. h. im Allgemeinen, je verdünnter die Lösung ist, desto genauer mufs

1) Von Gerlach, Kremers, Lunge, Schiff u. A. Vgl. auch Tab. 1. — Zusammenstellungen bei Landolt u. Börnstein (die Bezeichnung daselbst $s_{18/18}$ etc. bei den Tabb. von K. ist in $s_{18/4}$ umzuändern), Gerlach, Z. S. f. analyt. Chem. 8, 279. 1869; Comey; Kohlr. Leitfaden. Über die Bestimmung des spec. Gew. s. z. B. ebenda.

Digitized by Google

dasselbe bestimmt sein. Auf die Temperatur, für welche die Tabelle gilt, ist sowohl bezüglich der Lösung wie des Wassers zu achten, welches als Einheit dient. Zur Umrechnung dienen z. B. die Beziehungen:

$$\frac{s_{15/15}}{s_{15/4}} = 1{,}00087; \quad \frac{s_{18/18}}{s_{18/4}} = 1{,}00138; \quad \frac{s_{19{,}5/19{,}5}}{s_{19{,}5/4}} = 1{,}00167.$$

III. Verdünnung von Lösungen.

Hat die Lösung einen stärkeren Gehalt, als den gewünschten, so wird sie durch Verdünnen auf das richtige Mafs gebracht. (Nach der Operation vergesse man nicht zu schütteln!)

Verdünnung nach Gewicht.

Allgemein liefert eine Mischung aus den Mengen M_1 und M_2 zweier Lösungen vom Gehalte p_1 und p_2 den neuen Gehalt $\frac{M_1 p_1 + M_2 p_2}{M_1 + M_2}$.

Um auf den leeren Raum zu reduciren ist jedes von der Wage angegebene Gewicht M zu multipliciren mit $1 + \frac{0{,}0012}{s}$, wenn s das spec. Gewicht der betr. Lösung ist. Diese Korrektion kommt also nur in Betracht, wenn die sp. Gewichte erheblich verschieden sind.

Aus einer Lösung vom Gehalte p erhält man eine verdünntere vom gewünschten Gehalte p', indem man zu der Lösungsmenge M die Menge $M\frac{p - p'}{p'}$ des Lösungsmittels zusetzt. Eine gute Apothekerwage wird bei der Mischung gröfserer Mengen meist ausreichen. Man benutzt, um eine Ungleicharmigkeit unwirksam zu machen, immer dieselben Wagschalen.

Um die Gewichte auf den leeren Raum reducirt anzuwenden ist es hier genügend, die in Luft abzuwägende Menge des Wassers um $M \cdot 0{,}0012\frac{s-1}{s}$ kleiner zu nehmen, als man nach dem obigen Ausdruck mit der in Luft abgewogenen Menge der Lösung berechnet hat. Bei schweren Lösungen kann diese Korrektion 1‰ betragen.

Aus zwei Lösungen I und II vom Gehalte p_1 und p_2 mischt man einen gewünschten Gehalt p', indem man zu der Menge M der Lösung I die Menge $M\frac{p_1 - p'}{p' - p_2}$ der Lösung II fügt.

Digitized by Google

Verdünnung nach Volumen.

Zwei Volumina V_1 und V_2 zweier Lösungen vom Gehalt q_1 und q_2 zu einem Gesamtvolumen V gemischt (wo V im Allgemeinen wegen der Kontraktion nicht genau $= V_1 + V_2$ ist), geben den Gehalt $q = \frac{V_1 q_1 + V_2 q_2}{V}$.

Meistens wird man mit Wasser mischen. Um in diesem Falle aus dem Gehalte q_1 den kleineren q zu bekommen, wird entweder das Volumen V_1 der Lösung aus einem Meßfläschchen oder einer Pipette unter Nachspülen mit Wasser in einen Meßcylinder gefüllt und daselbst zum Volumen $V = V_1 \cdot q_1/q$ aufgefüllt. Oder, wenn das Verdünnungsgefäß ein gegebenes Volumen V hat, so beschickt man es mit dem Volumen $V_1 = V \cdot q/q_1$ aus einer Bürette oder einer zu diesem Zwecke geaichten Pipette und füllt mit Wasser auf. Vor der genauen Abgleichung wird durchgeschüttelt.

Bei Anspruch an Genauigkeit ist die Temperatur, für welche die Verdünnung gelten soll, nahe innezuhalten.

IV. Kalibrirung von Hohlgefäßen.

Man wägt trocken und mit Wasser [oder Quecksilber] gefüllt. Die Differenz betrage m gr, die Temperatur sei t. Hieraus wird das Volumen eines Glasgefäßes bei 18° erhalten $v_{18} = m(1 + \delta)$ ccm [oder für Quecksilber gleich $m \cdot k$ ccm], wo die Größen δ [bez. k] aus Tab. 10 zu der Temperatur t zu entnehmen sind.

Bei einer anderen Temperatur T ist das Volumen bei mittlerem Glase $v_T = v_{18}\left(1 + \frac{T - 18}{40000}\right)$. Benutzt man zum Mischen zwei Gefäße bei gleicher Temperatur, so ist die Korrektion überflüssig. Der kubische Ausdehnungskoefficient der Gläser kann zwischen etwa $^1/_{30000}$ und $^1/_{50000}$ variiren.

Bei Pipetten kommt es darauf an, ob auf Ausfluß oder ob, was das Genauere ist, auf Trockenfüllung (mit Nachspülen) geaicht werden soll. Im ersteren Fall läßt man die Pipette in ein tarirtes Fläschchen auslaufen, etwa jedesmal 10 sec lang, mit kurzem Ausblasen des letzten Tropfens und wägt. Wegen Verdunstens mag man das Fläschchen bedecken, jedenfalls kein offenes Becherglas anwenden.

Soll auf Trockeninhalt geaicht werden, so wägt man vorher das Fläschchen und die trockene Pipette zusammen, läßt später den Inhalt der Pipette in das Fläschchen auslaufen und wägt letzteres samt der feuchten Pipette. Für kleine Pipetten kann Quecksilber zweckmäßig sein.

Amtlich geaichte Meßgeräte sind jetzt im Handel.

Digitized by Google

17. Untersuchung sehr verdünnter Lösungen.

Hier liegt noch ein ungenügend erforschtes umfangreiches Gebiet von grofser Bedeutung vor.

Am nächsten liegend ist es, etwa so zu verfahren, dafs man in ein Widerstandsgefäfs (Fig. 2 bis 6 S. 14 u. 15) zwei Pipetten (§ 16. IV) I und II voll von der Originallösung einfüllt, dann, nachdem der Widerstand bestimmt ist, eine Pipette II voll herausnimmt und durch ebensoviel Wasser ersetzt, schüttelt, wieder den Widerstand bestimmt, abermals dasselbe Volumen durch Wasser ersetzt u. s. f. Haben die Pipetten die Volumina V_1 und V_2, hat die ursprüngliche Lösung die (Volum-) Koncentration η oder die „Verdünnung" $\varphi = 1/\eta$, so stellen die untersuchten Lösungen die nach einer geometrischen Reihe fortschreitenden Koncentrationen, bez. Verdünnungen vor

$$\eta \qquad \eta\frac{V_1}{V_1+V_2} \qquad \eta\left(\frac{V_1}{V_1+V_2}\right)^2 \text{ etc.}$$

bez.
$$\varphi \qquad \varphi\frac{V_1+V_2}{V_1} \qquad \varphi\left(\frac{V_1+V_2}{V_1}\right)^2 \text{ etc.}$$

Nimmt man statt zweier Pipetten dieselbe Pipette zweimal, so kommen η, $\frac{1}{2}\eta$, $\frac{1}{4}\eta$ etc. oder die Verdünnungen φ, 2φ, 4φ etc.

Bei starken Verdünnungen ist aber auf diesem Wege die saubere Behandlung des Wassers nicht leicht zu bewerkstelligen. Weniger einfach, aber sicherer ist in diesem Falle der umgekehrte Weg, nämlich mit Wasser, und zwar einem nicht zu kleinen Volumen ($\frac{1}{2}$ Liter), zu beginnen, dessen Leitvermögen zu bestimmen und nach und nach Lösung hinzuzufügen. Pipetten geeigneter Gröfse lassen Koncentrationen von einem genähert runden Betrage erzielen, von denen man graphisch (§ 21) leicht auf die genau abgerundeten reduciren kann.

Volumänderungen durch Kontraktion, die bei diesen Methoden aufser Acht gelassen werden, können im ungünstigen Falle einige Zehntausendtel Fehler bewirken.

Schemata für Pipetten-Verdünnungen.

Koncentrations-Verhältnisse 1 : 3 : 10 etc. Zwei Pipetten von 0,5 und 3,5 ccm und eine Normal- und eine Zehntelnormallösung ($\eta = 0{,}001$ und $0{,}0001$) seien gegeben. Eingefüllt werden 490,5 ccm Wasser, denen man folgeweise zufügt:

0,5, $2\times$0,5 und 3,5 ccm Zehntelnormallösung, dann $2\times$0,5, 3,5

Digitized by Google

und $3 \times 3{,}5$ ccm Normallösung. Man wird leicht ausrechnen, daſs hierdurch die Koncentrationen entstehen $10^3\eta =$

0,0001018, 0,0003049, 0,001009, 0,003021, 0,01000, 0,03036

oder die Verdünnungen $v = 10^{-3}\varphi =$

9820 3280 991 331,0 100,0 32,94

(d. h. die letzte nahe = 0,03 normal), deren Widerstände sich relativ etwa zwischen den Grenzen 200 und 1 bewegen und bei geeigneter Widerstandskapacität zwischen den Elektroden (etwa $C = 0{,}1$ cm^{-1} für Salze) 10000 bis 40 Ohm betragen werden.

Koncentrations-Verhältnisse 1:2:5:10 etc. oder Verdünnungs-Verhältnisse 10:5:2:1 etc. Um gröſserer Genauigkeit willen soll zugleich die Pipette von $\frac{1}{2}$ ccm durch eine von 5 ccm ersetzt werden; aufserdem seien Pipetten von 1,5 und 2,5 ccm vorhanden. Zu 477 ccm Wasser werden zugefügt:

5 und 5 ccm hundertel-, dann 1,5, 2,5 und 5 ccm zehntel-, endlich 1,5, 2,5, 5 und 3×5 ccm ganznormaler Lösung. Die entstehenden Koncentrationen berechnen sich $1000\eta =$

0,0001037 0,0002053 0,0005117 0,0010183 0,0020162

0,005025 0,01000 0,01980 0,04808

oder die Verdünnungen $v = 10^{-3}\varphi =$

9640 4870 1954 982 496

199,0 100,0 50,50 20,80

Zur Kontrole wird das für 0,01 so gefundene Leitvermögen mit dem der direkt gemischten Lösung verglichen.

Die Kapacität offener untergetauchter Elektroden wird sich hierbei durch das geänderte Volumen etwas ändern, nimmt man aber ein schmales Becherglas und einen nicht zu groſsen Abstand von Elektroden (Fig. 4—6, S. 15), welche tief untertauchen, so macht das nicht viel und läſst sich leicht empirisch ermitteln. Vgl. Kohlr. 12. 1885. Tauchelektroden mit Hülle (Fig. 15, S. 19) lassen diese Veränderlichkeit ganz vermeiden.

Ein Thermometer ist natürlich in die Flüssigkeit eingeführt.

Über saure oder alkalische Flüssigkeiten vgl. noch folg. S.

Einfluſs der Unreinheit des Wassers auf verdünnte Lösungen.

Das Wasser hat bestenfalls ein Leitvermögen, welches bei Lösungen von einer Verdünnung gleich 10^6 ccm/gr-Äqu. ($^1/_{1000}$ normal) noch nicht zu vernachlässigen ist. Würde man das gefundene Leitvermögen noch verdünnterer Lösungen für dasjenige des in reinem Wasser gelösten Körpers nehmen, so würde man bedeutend zu groſse Werte erhalten. Bei neutralen Salzen kommt man zu nahe richtigen Zahlen, wenn man von dem

Digitized by Google

gefundenen Leitvermögen K der Lösung dasjenige des Wassers K_0 abrechnet und die Differenz $K - K_0$ als das Leitvermögen des gelösten Körpers ansieht (Arrhenius 1. 1884; Kohlr. 12. 1885). Dies ist z. B. bei Löslichkeitsbestimmungen sehr schwer löslicher Substanzen wie Chlorsilber, Bariumsulfat etc. von Bedeutung.

Eine Erschwerung und eine Quelle von Ungenauigkeit aber ist in dem unreinen Wasser immerhin gegeben. Da der Grenzwert des Äquivalent-Leitvermögens bei einer Verdünnung von 10^6 ccm/gr-Äqu. noch nicht erreicht ist, so steht diese Fehlerquelle auch der genauen Feststellung des Grenzwertes im Wege.

Säuren, Basen und alkalisch reagirende Salze (Karbonate) kann man überhaupt nicht mit Erfolg in äufserster Verdünnung untersuchen. Die allerersten kleinen Mengen, die man dem Wasser zufügt, geben beträchtlich kleinere Vermehrungen des Leitvermögens als die späteren Mengen, bei schlechtem Wasser sogar zuweilen Verkleinerungen; das Äquivalentleitvermögen wächst scheinbar im Anfange, während dasselbe bei allen neutralen Salzen immer abnimmt[1]) (Arrhenius 1. 1884; Kohlr. 12. 1885; Ostwald 3. 1885). Die Depression in grofser Verdünnung ist mindestens zum Teil sekundär, da sie um so kleiner ausfällt, je reiner das Wasser ist. Der Umstand, dafs die Verunreinigungen aus der Atmosphäre (Ammoniak, Kohlensäure) selbst schwache Basen oder Säuren sind, scheint die Ursache zu bilden (Ostwald 3. 1885).

Auch mit dem besten für solche Zwecke hergestellten Wasser hat man die Verdünnung höchstens bis gegen 10^6 ccm/gr-Äqu. treiben können, ohne diesen Anomalien zu begegnen.

Selbst bei neutral reagirenden Salzen sind wahrscheinlich die Leitvermögen, die man nach Abzug des Wassers erhält, eher

---

1) Man hat wohl vorgeschlagen, bei Säuren und Basen die ganzen Werte des Leitvermögens ohne Abzug des Wassers zu nehmen, allein das hat keinen Sinn. Denn wenn dabei zufällig auch einmal richtige Zahlen herauskommen können und oft richtigere, als wenn man das Wasser abrechnet, so steht ein solches Verfahren doch vollständig in der Luft. Es liefert unter Umständen viel zu grofse Werte, denn z. B. für unendliche Verdünnung würde man stets ein unendlich grofses Äquivalentleitvermögen berechnen.

Digitized by Google

etwas zu klein als zu grofs. (Würde man das Wasser nicht abziehen, so erhält man aber bei sehr verdünnten Lösungen viel zu grofse Werte.) Je stärker das Metall und die Säure des Salzes ist, desto weniger wird ein Fehler zu befürchten sein. Salze von schweren Metallen mit schwachen Säuren (wie Silberacetat) scheinen der Depression stärker unterworfen zu sein.

18. Die elektrolytische Stromleitung.

I. Jonen. Elektrochemisches Äquivalent. Wertigkeit.

Ein Elektrolyt leitet den Strom dadurch, dafs sein chemisches Molekül sich in einen positiven Teil (Metalle oder Wasserstoff) und einen negativen Teil (Säureradikale oder Hydroxyl) spaltet. Diese beiden Jonen tragen bestimmte Mengen positiver und negativer Elektricität und bedingen den Strom vermöge ihrer entgegengesetzten Bewegung, welche durch die auf ihre Ladungen ausgeübten elektrischen Kräfte entsteht.

Nach dem Faraday'schen Gesetz sind chemisch äquivalente Mengen die Träger von gleichen Elektricitätsmengen.

Jedes Grammäquivalent eines Elektrolytes oder eines Jons, d. h. eine Menge von A gr, wenn A das Äquivalentgewicht (Tab. 15) bedeutet (dasjenige des Sauerstoffs $= 8{,}00$ gesetzt), trägt die, positive oder negative Elektricitätsmenge 9654 Weber'sche elektromagnetische C-G-S-Einheiten oder die El.-Menge 96540 Ampere $\times$ Sec oder „Coulomb". Die Elektricitätsmenge 1 Amp. sec scheidet also $\frac{1}{96540} = 0{,}00001036$ Gr.-Aqu. also $0{,}00001036 \cdot A$ gr eines Jons, z. B. $0{,}00001036 \cdot 107{,}92 = 0{,}001118$ gr Silber ab; elektrochemisches Äquivalent des Jons.

Bei chemisch einwertigen Jonen oder aus solchen Jonen zusammengesetzten Elektrolyten ist Molekular- und Äquivalentgewicht dasselbe: KCl hat das Äqu.-Gew. $39{,}14 + 35{,}45 = 74{,}59$, also bilden 74,59 gr das Grammäquivalent; bei NO_3 entsprechend $14{,}04 + 48{,}00 = 62{,}04$ gr und bei KNO_3 $39{,}14 + 62{,}04 = 101{,}18$ gr.

Sind aber die Jonen nicht alle einwertig, so ist das Molekulargewicht nicht gleich dem Äquivalentgewicht. Die Äquiva-

Digitized by Google

lentformel schreiben wir immer so, dafs sie eine Menge darstellt, die dem Molekül eines Körpers aus zwei einwertigen Jonen gleichwertig ist. Wir denken die Formeln also z. B. nicht H_2SO_4, K_2CO_3, $BaCl_2$, $MgSO_4$ geschrieben, sondern $H(SO_4)_{\frac{1}{2}}$, $K(CO_3)_{\frac{1}{2}}$, $Ba_{\frac{1}{2}}Cl$, $Mg_{\frac{1}{2}}(SO_4)_{\frac{1}{2}}$, oder auch $\frac{1}{2}H_2SO_4$, $\frac{1}{2}K_2CO_3$ etc.

Sind die Bestandteile mehr als zweiwertig, wie etwa bei der Phosphorsäure und ihren Salzen, so pflegt man aber die ganzen Moleküle zu schreiben, da die elektrolytische Konstitution dieser Körper noch wenig bekannt ist.

II. Leitvermögen der Lösungen, Jonenreibung; Dissociation.

Körper, die an sich ein erhebliches elektrolytisches Leitvermögen besäfsen, kennt man in niederer Temperatur nicht. Auch durch Druck verflüssigte Säuren z. B. HCl leiten kaum (Faraday 1833; Hittorf 4. 1859; Gore 1869; Bleekrode, 1878). Das Leitvermögen entsteht entweder durch hohe Temperatur, und zwar unter Umständen so, wie bei Glas oder AgJ, auch ohne dafs Verflüssigung eingetreten zu sein braucht (Beetz, Buff, Grätz, Warburg, W. Kohlrausch u. A.) oder durch Lösung, d. h. es kann die Anwesenheit eines anderen Körpers im gleichen Raume ein Leitvermögen bewirken. Die Elektrolyte werden erst durch Mischung gute Leiter (Kohlr. 3. 1876). Das Lösungsmittel kann den gelösten Körper „ionisiren". Besonders stark äufsert auf Salze, Säuren und Alkalien das Wasser diese Wirkung. Das Wasser scheint sich an der Leitung selbst nicht oder doch nur in verschwindendem Mafse zu beteiligen; es dient im Allgemeinen nur als Träger der Jonen (Hittorf 3. 1858 u. 5. 1878, vgl. auch Kohlr. 8. 1879).

Das Leitvermögen einer Lösung hängt von zwei Umständen ab. Erstens kommt die Reibung der Jonen an ihren Nachbarn und am Lösungsmittel, der elektrolytische Reibungswiderstand in Betracht. Derselbe wird einerseits durch die Natur des Jons, andrerseits durch die Beschaffenheit der Lösung bestimmt. Was die positiven Jonen betrifft, so hat Wasserstoff die kleinste Reibung. Infolge dessen werden die bestleitenden Lösungen durch die Wasserstoff-Verbindungen, d. h. die Säuren gebildet. Die Metalle sind vom Wasserstoff durch einen Sprung der Be-

Digitized by Google

weglichkeit ungefähr wie 5 : 1 getrennt. Obenan stehen Kalium und Ammonium, die sich wenig voneinander unterscheiden; dann folgen von den bekannteren einwertigen: Silber, Natrium, schliefslich Lithium, letzteres etwa halb so beweglich wie Kalium. Die mehrwertigen Metalle erscheinen durchschnittlich weniger beweglich; in den Chloriden und Nitraten ist das Barium nicht weit vom Natrium, das Magnesium, Zink und Kupfer nicht weit vom Lithium entfernt. Ihre Sulfate dagegen stehen, wenn nicht ganz verdünnte Lösungen in Frage kommen, mit ihrem Leitvermögen viel tiefer, als die Sulfate der Alkalimetalle.

Unter den negativen Jonen ist der negative Bestandteil der Basen, das Hydroxyl OH*), am beweglichsten, ungefähr 3/5 so gut als der Wasserstoff; gelöste Ätzalkalien gehören dem entsprechend zu den sehr guten Leitern (Ammoniak nicht; vgl. weiter unten). Chlor, Brom, Jod, auch noch NO_3 sind etwa ebenso beweglich wie die beweglichsten Metalle (Kohlr. 8. 1879). Die organischen Säuren bilden durchweg schlechter leitende Salze als jene; Ameisensäure steht oben, das Radikal $C_2H_3O_2$ der Essigsäure ist etwa halb so beweglich wie Chlor, Brom etc. Mit wachsender Komplikation des Moleküls nimmt die Beweglichkeit noch weiter ab (Ostwald 11. 1888 u. Allg. Chemie; Bredig 2. 1894).

Über die mehrbasischen Säuren ist weniger leicht etwas allgemeines auszusagen. Schwefelsäure, Chromsäure, Oxalsäure bilden Verbindungen, die in verdünnter Lösung den Chloriden etc. nahe kommen, in koncentrirterer aber teilweise sehr weit zurücktreten. Noch gröfser ist der Unterschied bei den stärkeren Lösungen der Sulfate zweiwertiger Metalle, wie Mg, Zn etc.

Der elektrolytische Reibungswiderstand hängt natürlich von

---

*) Dem Gebräuchlichen entsprechend wird hier die Elektrolyse einer Base, z. B. KOH, so angenommen, als ob das Metall mit, der Bestandteil OH entgegen der Stromrichtung wanderte. Steht dies auch nicht aufser Zweifel, so unterscheiden sich doch die Folgerungen in ihren Resultaten nicht von der anderen möglichen und von Beweglichkeitsverhältnissen unterstützten Auffassung, dafs K und H mit und O entgegen dem Strom wandere.

Digitized by Google

der Koncentration ab. Man wird annehmen dürfen, dafs er meistens mit der Stärke der Lösung wächst, so wie dies, allerdings mit Ausnahmen, mit der mechanischen Zähigkeit der Fall ist.

Über Jonenbeweglichkeit vgl. auch § 19.

Das Leitvermögen wird aber zweitens durch eine ganz andere Eigenschaft des Elektrolytes beeinflufst, die in noch ungleicherem Mafse verteilt ist, als die mechanische Beweglichkeit der Jonen und die zugleich vom Lösungsmittel abhängt. Die Vermischung der beiden Einflüsse raubt den Erscheinungen ihre Übersichtlichkeit.

Damit nämlich eine Verbindung elektrolytisch leitet, ist, wie oben bereits erwähnt, nicht ausreichend, dafs sie in Jonen gespalten werden kann, sondern die Bestandteile müssen als Jonen vorhanden sein, sie mufs wie man sagt „ionisirt" oder „dissociirt" sein (Clausius 1857). Mit ihren Konsequenzen wurde die Anschauung entwickelt und zur Geltung gebracht von Arrhenius (1. 1884; 4. 1887). Diesen Zustand der Jonisation denkt man sich dadurch hervorgebracht, dafs in Lösung nicht alle Moleküle fest gebunden sind, sondern dafs mindestens ein Teil derselben in seine Bestandteile gespalten ist. Man unterscheidet also feste und freie oder aktive Jonen. Die letzteren zunächst werden durch die Kräfte, die durch die elektromotorische Kraft (das „elektrische Feld" oder das „Potentialgefälle") auf ihre elektrischen Ladungen ausgeübt werden, fortbewegt, die positiven in, und die negativen entgegen der Stromrichtung.

Man hat freilich kein Recht sich vorzustellen, dafs freie und gebundene Jonen auf die Dauer verschiedene Individuen sind; vielmehr wird ein sehr häufiger, bei guten Leitern wohl ein merklich unendlich häufiger Austausch zwischen beiden Gruppen stattfinden; freie Jonen, wenn sie zusammentreffen, werden sich zu einem Molekül vereinigen, andrerseits Moleküle durch die Centrifugalkraft, welche in ihren Bestandteilen wegen der Wärmebewegung vorhanden ist, zerfallen können, oder es werden Jonen, wenn sie ein Molekül treffen, den gleichartigen Bestandteil des letzteren verdrängen und sich an seine Stelle setzen können.

Die Annahme der Anwesenheit freier Jonen in Lösung wird durch verschiedene Reaktionen anderer Art gestützt*), die über die Anzahl der vorhandenen Moleküle Aufschlufs geben, wie die Erniedrigung des

*) Eine ausführliche Darstellung s. Ostwald, Allg. Chemie, 2. Aufl. II, S. 647 ff.

Digitized by Google

Gefrierpunktes sowie der Dampfspannung (Raoult 1882 u. 1887; van't Hoff 1885; Arrhenius 4. 1887; Planck 1. 1887). Diese ist bei gelösten Elektrolyten gröfser, als man sie unter der Voraussetzung berechnet, dafs nur die nach der chemischen Formel berechnete Anzahl von gelösten Molekülen vorhanden sei.

Auch über die Avidität der Säuren und Basen, sowie über die Geschwindigkeit des Verlaufes chemischer Reaktionen gibt die Theorie der freien Jonen einen Aufschlufs, wenn man die letzteren als die aktiven ansieht (Arrhenius 1. 1884; Ostwald 1. 1884). Sie erklärt auch die sonst verwunderliche Thatsache, dafs die Verbindungswärmen verschiedener Basen mit Säuren in Lösung nahe gleich sind (Arrhenius 6. 1889).

Endlich folgt aus dem Guldberg-Waage'schen Gesetz der chemischen Massenwirkung eine Formel, welche den Dissociationszustand als Funktion der Koncentration der Lösung darstellt. Und zwar ergibt sich bei binären Molekülen, wenn derselbe Körper in einem bestimmten Mittel zu verschiedenen Koncentrationen η oder Verdünnungen φ gelöst ist, für seinen Dissociationsgrad α, d. h. für das Verhältnis der dissociirten zu der gesamten Zahl der Moleküle, die Beziehung (Ostwald 7 u. 9. 1888; Planck 2. 1888)

$$\frac{\alpha^2}{1-\alpha} = \frac{c}{\eta} \text{ oder } = c \cdot \varphi, \qquad 1)$$

wonach also α durch η oder φ ausgedrückt werden kann. Die Zahl c, die Dissociationskonstante des Elektrolytes, ist aus den Versuchen selbst zu berechnen. Für verschiedene Lösungsmittel und Stoffe hat c einen verschiedenen Wert, der auch noch von der Temperatur abhängt.

Ableitung für binäre Moleküle. Die Koncentration sei dadurch definirt, dafs η Moleküle in der Volumeinheit gelöst sind. Von diesen sei ein Bruchteil α gespalten, so dafs je $\alpha\eta$ freie Jonen beider Arten und $(1-\alpha)\eta$ nicht dissociirte Moleküle vorhanden sind. Der Bruchteil α wird durch folgende Betrachtung gefunden. In der Zeiteinheit wird vermöge der Centrifugalkraft, welche durch die Molekularbewegung bedingt ist, von den ganzen Molekülen eine Anzahl zerfallen, welche gleich $P \cdot (1-\alpha)\eta$ gesetzt werden möge. Von den freien Jonen wiederum wird sich in gleicher Zeit eine Zahl treffen und wieder vereinigen, die der Anzahl $\alpha\eta$ der Jonen jeder Art, zusammen also dem Quadrate dieser Anzahl proportional ist. Wir setzen sie gleich $Q \cdot (\alpha\eta)^2$. P und Q sind Proportionalitätsfaktoren, die von der Natur der Moleküle abhängen. Damit Gleichgewicht besteht, ist nötig, dafs die beiden vorigen Ausdrücke einander gleich sind, also $P \cdot (1-\alpha)\eta = Q \cdot (\alpha\eta)^2$ oder wenn zugleich $P/Q = c$ gesetzt wird, $c(1-\alpha) = \alpha^2 \cdot \eta$ oder $\alpha^2/(1-\alpha) = c/\eta$ oder $= c\varphi$, d. h. es kommt die Formel 1) heraus. $\frac{\alpha^2}{1-\alpha}$ ist hiernach der Koncentration η umgekehrt oder der Verdünnung direkt proportional.

Je gröfser c, desto besser leitet im Allgemeinen der gelöste Körper. Wenn für die Leitung nur die dissociirten Moleküle in Betracht kommen,

Digitized by Google

so mufs, einen konstanten elektrolytischen Reibungskoefficienten angenommen, das Leitvermögen proportional $\alpha \cdot \eta$ sein. Für verdünnte Lösungen schlechter Leiter stimmt diese Beziehung nahezu (Ostwald 3. 1885; van't Hoff u. Reicher 1888 u. A.). Vgl. über die Bestimmung von c noch § 19 bei Äquivalentleitvermögen.

Man sieht leicht, dafs die Formel für ganz schwach dissociirte Körper, d. h. Körper, bei denen α immer klein gegen 1 ist, bedeutet, dafs der Dissociationsgrad α eines bestimmten Körpers der Gröfse $1/\sqrt{\eta}$ proportional ist. Wenn nun nach der Theorie das Leitvermögen mit $\alpha \cdot \eta$ proportional sein soll, so ist dasselbe nach dem eben Gesagten also der Wurzel aus der Koncentration η direkt proportional, eine Beziehung, welche an schlechten Leitern, wie Ammoniak und Essigsäure bekannt ist (Kohlr. 8. 1879). Dafs solche Körper, zu denen die meisten organischen Säuren und Basen gehören, in koncentrirter Lösung so schlecht leiten, dafs sie mit Salzen oder starken Säuren verglichen, Leiter niederer Ordnung darstellen, liegt also an ihrer schwachen Dissociation. Die Konstante c hat einen kleinen Wert für sie, und bei allen gröfseren Werten der Koncentration η resultirt ein kleines α, so dafs das Leitvermögen $\alpha\eta$ einen beträchtlichen Wert überhaupt nicht erreichen kann.

Für Säuren ergibt sich aus der Formel eine weitere Folgerung; nämlich, da das Leitvermögen der Säuren zum überwiegenden Teile von dem allen gemeinsamen Jon Wasserstoff herrührt, so wird hier α nahe dem auf die Einheit der gelösten Menge bezogenen specifischen Leitvermögen proportional sein. α ist nun durch das Verhältnis c/η bestimmt. Gibt man zwei gelösten Säuren I und II solche Koncentrationen η_1 und η_2, dafs α für die beiden gleich wird, so ist also $c_1/\eta_1 = c_2/\eta_2$. Ändert man dann beide Koncentrationen nach gleichem Verhältnisse in η_1' und η_2', so dafs sich verhält $\eta_1' : \eta_2' = \eta_1 : \eta_2$, so wird wieder $c_1/\eta_1' = c_2/\eta_2'$, d. h. es müssen wieder, auf die Einheit der gelösten Menge bezogen, die beiden specifischen Leitvermögen gleich sein. Dies bestätigt sich in vielen Fällen (Ostwald 3. 1885).

In äufserst verdünnter Lösung müssen nach der Formel 1) alle Körper vollständig dissociirt, d. h. es mufs $\alpha = 1$ sein; denn wenn die Dissociations-Gleichung (vor. S.) für einen Zustand von η nahe $= 0$ gelten soll, so mufs auch der Nenner links der Null nahe kommen, d. h. α nahe $= 1$ werden. Alsdann leiten auch jene in gröfserer Koncentration schlechten Leiter mit einem Betrage von gleicher Ordnung wie entsprechend verdünnte gute Leiter.

Während die Folgerungen aus der Dissociationsformel an den schlechten Leitern sich auch quantitativ nahe bestätigen, gilt dies nicht mehr für gute Leiter, so dafs hier die Voraussetzungen der Formel offenbar nicht zutreffen. In äufserster Verdünnung macht man aber auch für die guten Leiter die Annahme, dafs sie vollständig dissociirt sind.

Das Verhältnis der vermöge der Dissociation vorhandenen gesamten Zahl von Teilchen zu der Zahl der ohne Dissociation vorhandenen Mole-

Digitized by Google

küle pflegt mit i bezeichnet zu werden (van't Hoff). Es ist also bei Molekülen, die sich in n Teile spalten, $i = 1 + (n - 1)\alpha$ und bei binären Molekülen $i = 1 + \alpha$. Für vollständige Dissociation, d. h. für $\alpha = 1$ ist also $i = n$ bez. $= 2$.

Die Jonisation der Elektrolyte wird durch das Lösungsmittel bewirkt. Wasser hat eine viel höhere dissociirende Wirkung als andere Lösungsmittel, z. B. Alkohole. Die Ursache hiervon könnte in der hohen Dielektricitätskonstante des Wassers liegen (Nernst 5. 1894).

In koncentrirteren Lösungen die beiden Einflüsse der elektrolytischen Reibung und der Dissociation quantitativ zu trennen ist noch nicht gelungen. Beide zusammen äufsern sich darin, dafs mit wachsendem Gehalt der Lösung das Leitvermögen nicht dem Gehalt proportional, sondern verzögert wächst. Bei vielen Flüssigkeiten erreicht es sogar für eine bestimmte Koncentration einen Maximalwert und nimmt bei weiterer Verstärkung der Lösung wieder ab. Dies ist bei allen Körpern, die beliebig stark löslich sind, so wie z. B. viele Säuren, selbstverständlich, denn wenn nur durch Mischung ein guter Leiter entstehen kann, so mufs zwischen Wasser und wasserfreier Flüssigkeit mindestens eine Koncentration von maximalem Leitvermögen liegen (Kohlr. 3. 1876).

Eine Illustration nach mehreren Seiten liefern hierfür die wässrigen Lösungen der Schwefelsäure; s. Tab. 1 u. Fig. 60, § 21 (Kohlr. 3. 1876). In grofser Verdünnung steigt deren Leitvermögen mit der Koncentration sehr stark an, dann aber langsamer, um bei 30 % (oder $\eta = 0{,}0075$ gr-Äqu./ccm, d. h. 7,5 mal normal) ein Maximum zu erreichen. Nun folgt eine allmähliche Abnahme, aber nur bis $84\frac{1}{2}$ % ($\eta = 0{,}030$), von wo wieder ein Ansteigen beginnt. Dieser Minimum-Punkt entspricht dem Verhältnis von Schwefelsäure zu Wasser, welches die Zusammensetzung des zweiten Hydrates $H_2SO_4 + H_2O$ hat, einer durch Krystallbildung charakterisirten innigeren, wenn auch schon bei gewöhnlicher Temperatur lockeren Verbindung von Schwefelsäure und Wasser. Gegen den Punkt 100 % hin fällt die Kurve dann abermals stark ab, so dafs der ganz koncentrirten Säure (nahe H_2SO_4) ein etwa 100mal kleineres Leitvermögen zukommt, als der bestleitenden Mischung. Aber auch durch Zusatz von Anhydrid SO_3 zu H_2SO_4 entsteht zunächst wieder ein Wachstum bis zum etwa dreifachen Betrage, dann aber ein Abfall bis das Anhydrid selbst als ein Nichtleiter erscheint (W. Kohlrausch 1882).

Dieser merkwürdige Verlauf zeigt deutlich den günstigen Einfluſs, welchen die Mischung verschiedener Flüssigkeiten, seien es H_2SO_4 und

Digitized by Google

H_2O oder H_2SO_4 und $(H_2SO + H_2O)$ oder endlich H_2SO_4 und SO_3, durch die ionisirende Wirkung auf das Leitvermögen äufsert.

Offenbar steht auch die mechanische Zähigkeit der Lösungen mit diesen Verhältnissen in einem inneren Zusammenhang. Körper, welche zähe Lösungen bilden, geben im Allgemeinen auch eine geringere Leitfähigkeit (G. Wiedemann 2. 1856; Grotrian 2. 1876).

Erwähnt mag noch werden, dafs die Kontraktion, welche bei dem Auflösen von Körpern im Wasser einzutreten pflegt, Beziehungen zum Leitvermögen der Lösung zeigt (Kohlr. u. Hallwachs 1894).

Das Wachstum des Leitvermögens mit der Temperatur setzt sich gewöhnlich aus den beiden Ursachen, Steigerung der Dissociation und Verminderung der Reibung, zusammen. Für die Änderung der Dissociation läfst sich aus thermodynamischen Betrachtungen ein Gesetz ableiten (van't Hoff 1888). Am Leitvermögen des reinen Wassers geprüft stimmt dasselbe mit der Erfahrung (Kohlr. u. Heydweiller 1. 1894). Einige Körper vermindern mit wachsender Temperatur ihren Dissociationsgrad; es kann vorkommen, dafs dieser Einflufs die Verminderung der Reibung aufhebt, dann ist, meistens in einem kleinen Intervall und in höherer Temperaturlage das Leitvermögen von der Temperatur unabhängig (Arrhenius 6. 1889). Eine Lösung, für welche dies in gewöhnlicher Temperatur eintritt, wird durch Mannit und Borsäure in Wasser dargestellt (Magnanini 1. 1890; vgl. auch § 11 III).

19. Elektrolytische Beweglichkeit und Äquivalentleitvermögen.

Das theoretische Ziel für die Erforschung einer Lösung würde darin bestehen, dafs man die beiden Einflüsse, welche das Leitvermögen bestimmen, die Dissociation und die elektrolytische Reibung der Jonen einzeln kennt. Bis jetzt ist diese Trennung nicht gelungen und für gute Leiter steht nicht einmal fest, ob sie möglich ist. Das Leitvermögen (die Stromdichte in dem elektrischen Felde Eins, d. h. bei dem Potentialgefälle 1 Volt/cm) gibt nur über die Summe der gegenseitigen mittleren Verschiebungen aller vorhandenen Jonen einen Aufschlufs; wie viele von diesen „frei" sind, kann man nicht sagen — aufser in dem Grenzfalle unendlicher Verdünnung, in welchem man eben eine vollständige Dissociation voraussetzt, d. h. alle

Digitized by Google

Jonen als freie ansieht. Der Begriff der elektrolytischen Beweglichkeit, den man einführt, um die Erscheinungen übersichtlich zu gestalten (Kohlr. 5. 1876; 6. 1879), bezieht sich also nicht auf die „freien" Jonen, sondern auf den ganzen Zustand; in dieser Beweglichkeit sind die beiden von der Dissociationstheorie geforderten Einflüsse des Dissociationsgrades und der Reibung vereinigt.

Wir definiren so, dafs die Summe der Beweglichkeiten beider Jonen multiplicirt mit der ganzen Anzahl η der in der Volumeinheit 1 ccm enthaltenen gr-Moleküle das Leitvermögen gibt.

Die Beweglichkeit des Kations heifse l_K, die des Anions l_A[1]), dann ist also

$$(l_K + l_A)\eta = \varkappa \quad \text{oder} \quad l_K + l_A = \frac{\varkappa}{\eta}. \qquad 1)$$

Die Summe der beiden Beweglichkeiten ist also gleich dem Quotienten aus dem Leitvermögen geteilt durch die Äquivalent-Koncentration. Sie stellt das Leitvermögen des einzelnen Gramm-Äquivalents in dieser Lösung dar und heifst deswegen das Äquivalentleitvermögen[2]) (Kohlr. 5. 1877; Lenz 2. 1878); wir bezeichnen dasselbe mit Λ, so dafs man hat[3])

$$\Lambda = l_K + l_A = \frac{\varkappa}{\eta} \quad \text{oder} \quad = \varkappa \cdot \varphi. \qquad 2)$$

Um die Gröfsen l_K und l_A einzeln zu finden, dienen aufser dieser Beziehung die Hittorf'schen „Überführungs-" oder „Wanderungszahlen" der Jonen (Hittorf 1853—59). Durch Bestimmung der Mengen jedes Jons, welche vor und nach der

1) l_K und l_A sind ihrer Definition gemäfs das $1{,}063 \cdot 10000 \cdot 1000 = 1{,}063 \cdot 10^7$fache der bisher gewöhnlich mit u und v bezeichneten Zahlen; vgl. S. 4.

2) Auch wohl „molekulares Leitvermögen". Es ist aber besser, diese Bezeichnung nur anzuwenden, wo die Koncentrationen nach ganzen Molekülen und nicht wie bei uns nach äquivalenten Teilen derselben gemessen werden.

3) Λ ist seiner Definition nach das 1,063fache des früher häufig mit μ bezeichneten Wertes; vorbehaltlich des Unterschiedes, der hereintritt, wenn μ für das ganze Molekül genommen ist, während Λ sich auf das Äquivalent bezieht. In diesem Falle ist bei zweiwertigen Elektrolyten $\Lambda = 1{,}063 \cdot \frac{1}{2}\mu$.

Digitized by Google

Elektrolyse zu den beiden Seiten eines Querschnitts in der Lösung vorhanden sind, erhält man nämlich die gegenseitige Geschwindigkeit der beiden Jonen. Man pflegt aber nicht das Verhältnis l_A/l_K anzugeben, sondern nach der Gewohnheit von Hittorf gibt man das Verhältnis n der Geschwindigkeit des Anions zu der Summe der Geschwindigkeit beider Jonen an. Es ist also

$$n = \frac{l_A}{l_K + l_A} \quad \text{oder} \quad = \frac{l_A}{\Lambda}. \qquad 3)$$

n mufs immer ein echter Bruch sein. Einzelne scheinbare Ausnahmsfälle (CdJ_2 und $CdCl_2$ in koncentrirter Lösung) sind darauf zurückzuführen, dafs sich in Wirklichkeit andere Jonen bilden, als die chemische Formel sie angibt. Überführungszahlen s. in Tab. 9.

Aus Gleichung 2 ergibt sich

$$l_K = (1-n)\Lambda \quad \text{oder} \quad = (1-n)\frac{\varkappa}{\eta} \quad \text{oder} \quad = (1-n)\varkappa\varphi$$
$$\text{und} \quad l_A = n\Lambda \quad \text{oder} \quad = n\frac{\varkappa}{\eta} \quad \text{oder} \quad = n\varkappa\varphi. \qquad 4)$$

Eine Normal-Chlornatriumlösung, $\eta = 0{,}001$ gr-Äqu./ccm, z. B. hat bei 18° das Leitvermögen $\varkappa = 0{,}0743$ also $\frac{\varkappa}{\eta} = \frac{0{,}0743}{0{,}001} = 74{,}3 = \Lambda$; die Überführungszahl des Anions ist $n = 0{,}637$. Hieraus berechnet sich für diese Lösung $l_{Na} = 0{,}363 \cdot 74{,}3 = 27{,}0$ und $l_{Cl} = 0{,}637 \cdot 74{,}3 = 47{,}3$. Ebenso für KCl, normal: Aus $\varkappa = 0{,}0982$, $\Lambda = 98{,}2$, $n = 0{,}514$ ergibt sich $l_K = 47{,}7$, $l_{Cl} = 50{,}5$.

So kann man für jede Lösung, deren Leitvermögen und deren Wanderungsverhältnis der Jonen bekannt ist, die Beweglichkeiten berechnen.

Berechnung des Dissociationsgrades α und der Dissociationskonstante c aus dem Äquivalentleitvermögen. Wir machen die Voraussetzungen 1) dafs nur die Jonen dissociirter Moleküle leiten, während die festen Moleküle sich teilnahmlos verhalten und 2) dafs die Lösung in solchen Grenzen bleibe, dafs die elektrolytische Reibung der Jonen eines Elektrolytes von der Koncentration der Lösung unabhängig ist. Dann ist das Leitvermögen $\varkappa$ der Anzahl der dissociirten Moleküle in der Volumeinheit proportional, d. h. der Koncentration η multiplicirt mit dem Dissociationsgrad α. Das Äquivalentleitvermögen $\Lambda = \varkappa/\eta$ also ist proportional α.

Nun nehmen wir ferner für ∞ grofse Verdünnung $\alpha = 1$ an (vgl. S. 98). Bedeutet Λ_∞ den Grenzwert des Äqu.-L. für ∞ Verdünnung, so

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

hat man also für irgend eine Verdünnung, bei welcher das Äqu.-L. $= \Lambda$ ist,

$$\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda_\infty} \quad \text{oder} \quad \Lambda = \alpha \Lambda_\infty .$$

Setzt man dies in die Ostwald'sche Formel 1) S. 97 $\alpha^2/(1-\alpha) = c \cdot \varphi$ ein, wo φ die Verdünnung der Lösung bedeutet, so wird diese Formel

$$\frac{\left(\frac{\Lambda}{\Lambda_\infty}\right)^2}{1-\frac{\Lambda}{\Lambda_\infty}} = c\varphi \quad \text{oder auch} \quad \frac{\Lambda^2}{\Lambda_\infty(\Lambda_\infty - \Lambda)} \frac{1}{\varphi} = c .$$

Hiermit läfst sich also c aus dem Äqu.-L. berechnen. Da nur Verhältnisse von Λ/Λ_∞ vorkommen, so ist es offenbar gleichgiltig, ob man die Äqu.-L. Λ oder die molekularen L. benutzt, und ebenso ob die hier auf das Ohm begründeten oder ob die auf Quecksilber bezogenen Gröfsen (μ und μ_∞ bezeichnet) gebraucht werden.

In den Tabellen 4 und 5 sind bei den Leitern niederer Ordnung, für welche die Dissociationsformel zutrifft, unter K die Werte $c \cdot 10^5$ angegeben.

Die Beweglichkeit der Jonen hängt von der Koncentration ab; sie verringert sich allgemein durch die Anwesenheit von mehr Salzteilchen. Da dieser Einfluſs die beiden Jonen nicht in gleichem Verhältnis trifft, so können die Überführungszahlen im Allgemeinen keine konstanten Gröfsen sein und sind auch nur bei wenigen Körpern, z. B. Chlorkalium, von der Koncentration nahe unabhängig. Anwachsen von n mit zunehmender Koncentration zeigt, daſs das Kation relativ stärker beeinfluſst wird und umgekehrt (Hittorf 1853 bis 1859).

Im Allgemeinen vergröfsern sich Ungleichheiten von l_K und l_A mit wachsender Koncentration der Lösung.

Zahlenzusammenstellungen für die gebräuchlichsten Elektrolyte siehe bei Bredig 2. 1894 u. Kohlr. 17. 1893. Über Jonenbeweglichkeiten in verdünnter Lösung s. das Folgende und Tab. 8a u. 8b.

Anwendungen. Wenn die Beweglichkeiten bekannt sind, so findet man aus der Koncentration η das Leitvermögen

$$\varkappa = (l_K + l_A)\eta . \qquad 5)$$

Und so ergiebt sich umgekehrt aus dem bekannten Leitvermögen die Koncentration

$$\eta = \frac{\varkappa}{l_K + l_A} \text{ gr-Äqu./ccm.} \qquad 6)$$

Digitized by Google

Der Gewichtsgehalt q in der Volumeinheit ist dann, wenn A das Äquivalentgewicht des Elektrolytes bedeutet (S. 4 u. Tab. 15),

$$q = A \cdot \eta \text{ gr/ccm} \qquad 7)$$

und der gewöhnliche Gehalt p nach Gewichtsverhältnissen (wo $100\,p$ den Procentgehalt bedeutet), wenn s das specifische Gewicht der Lösung ist, wird

$$p = \frac{q}{s} = \frac{A \cdot \eta}{s}. \qquad 8)$$

Diese Beziehungen sind sämtlich von praktischer Bedeutung. Ihre Anwendung auf die Aufgabe, die Stärke der Lösung aus dem Leitvermögen zu ermitteln, soll in § 28, wo die Löslichkeit schwer löslicher Körper behandelt wird, an einem Beispiel erläutert werden.

Tabellen für die Beweglichkeiten der Jonen in verdünnten Lösungen.

Die Überführungsverhältnisse der Jonen, aus denen im Zusammenhang mit dem Leitvermögen die Beweglichkeiten der Jonen ermittelt werden, sind bis zu Verdünnungen von etwa 30 bis 100, in neuester Zeit auch bis etwa 400 Liter/gr-Äqu. bestimmt worden aber nur für wenige Körper. Um die Beweglichkeiten in grofser Verdünnung zu berechnen, mufs man also Hypothesen einführen.

Die Tabellen 8a und 8b sind unter der Annahme aufgestellt, dafs die Wanderungsverhältnisse für KCl und $AgNO_3$ (Hittorf, Loeb u. Nernst, Bein), die in mäfsiger Verdünnung gefunden wurden, sich bei der weiteren Verdünnung nicht mehr wesentlich ändern. Zugleich ist der Erfahrungssatz benutzt worden, dafs chemisch ähnliche Verbindungen in verdünnter Lösung einen nahe parallelen Gang des Äquivalent-Leitvermögens d. h. der Summe der beiden Jonen-Beweglichkeiten aufweisen (Kohlr., Ostwald, Walden u. A.; vgl. K. 17. 1893).

Teilt man die Elektrolyte in einige Gruppen ein, so können also für jede Koncentration Zahlen für die Beweglichkeit des Anions und des Kations aufgestellt werden, deren Addition das Äqu.-Leitvermögen der Lösung ergibt. Nach dem Satze von der unabhängigen Beweglichkeit der Jonen ist dies für die aller-

Digitized by Google

äufserste Verdünnung von vornherein selbstverständlich, insofern man annehmen darf, dafs das Wasser nicht etwa selbst ein merkliches Leitvermögen äufsert oder die gelösten Verbindungen modificirt (was man bei mehrwertigen Jonen nicht von vorn herein wissen kann).

Bis zu wie grofsen Koncentrationen die Addition noch gestattet ist, läfst sich nicht von vorn herein sagen; der Erfolg zeigt, dafs man bei einfachen Körpern bis zu Lösungen von $^1/_{10}$ oder auch wohl $^1/_2$ normaler Koncentration nahe richtige Resultate erhält. Unsicherer sind die Annahmen über die zweiwertigen Jonen. (Vgl. Kohlr. 23. 1898.)

Die absoluten Geschwindigkeiten der Jonen.

Die Beweglichkeiten l_K und l_A haben wir aus dem Leitvermögen abgeleitet, welches letztere auf cm und auf die Widerstandseinheit Ohm zurückgeführt worden ist. Das Ohm wird abgeleitet aus den Einheiten Ampere und Volt für Stromstärke und elektromotorische Kraft. Dafs ein Leiter das Leitvermögen $\varkappa$ besitzt, ist identisch mit dem Ausspruch: in einem cm-Würfel desselben bewirkt die el. Kraft 1 Volt den Strom $\varkappa$ Am. Ferner nannten wir, wenn η die Koncentration oder φ die Verdünnung der Lösung war, gemessen in gr-Äqu. und cm^3, $\varkappa/\eta$ oder $\varkappa \cdot \varphi = \Lambda$ das Äquivalentleitvermögen und setzten endlich $l_K + l_A = \Lambda$.

Wir suchen nun die in gewöhnlichem Geschwindigkeitsmafs ausgedrückten Beweglichkeiten U und V[1]), die den Jonen in einem elektrischen Felde oder dem Potentialgefälle von der Stärke 1 Volt/cm zukommt, d. h. wenn z. B. an zwei gegenüber liegenden Seiten des cm-Würfels die Spannungsdifferenz 1 Volt besteht.

Es mag auch hier darauf aufmerksam gemacht werden, dafs U und V die Mittelwerte aus den Geschwindigkeiten aller ortsanwesenden Jonen bedeuten. Also wo man freie und gebundene Jonen zu unterscheiden hat und die letzteren als festliegend annimmt, da werden die mittleren Geschwindigkeiten der freien Jonen allein so zu berechnen sein, dafs man U und V mit dem Verhältnis der ganzen gelösten Menge zu dem dissociirten Bruchteil multiplizirt oder mit anderen Worten, dafs man U und V durch den Dissociationsgrad α (S. 97) dividirt.

Aus der Thatsache, dafs mit jedem gr-Äquivalent eines

1) U und V behalten die schon bisher gebräuchliche Bedeutung.

Digitized by Google

Jons die Elektricitätsmenge 96540 Am. sec wandert (S. 93), also mit η gr-Äqu. die Menge $96540 \cdot \eta$, folgt nun, daſs bei der Koncentration η (d. h. bei der Anwesenheit von η gr-Äqu. im ccm), wenn die beiden Jonen die Geschwindigkeiten U und V cm/sec haben, in dem Würfel der Strom $96540(U+V)\eta$ Am. besteht. Diese Stromstärke läſst sich andrerseits durch el. Kraft e und Leitvermögen $\varkappa$ ausdrücken, nämlich als $\varkappa \cdot e = (l_K + l_A)\eta \cdot e$, oder hier, da $e = 1$ sein soll, $= (l_K + l_A)\eta$. Es ist also

$$96540(U+V)\eta = (l_K + l_A)\eta$$

oder $$U + V = \frac{1}{96540}(l_K + l_A) = 0{,}00001036(l_K + l_A).$$

Demnach erhält man aus den Beweglichkeiten l_K und l_A durch Multiplikation mit 0,00001036 die Beweglichkeiten U und V, d. h. die in cm/sec ausgedrückten Geschwindigkeiten, welche durch elektrische Scheidungskraft 1 Volt/cm bewirkt werden (Kohlr. 4. 1876; 8. 1879).

Z. B. war (S. 102) bei 18° in Normallösungen von

KCl $l_K = 47{,}7$ $l_{Cl} = 50{,}5$; NaCl $l_{Na} = 27{,}0$ $l_{Cl} = 47{,}3$.

Also ist hier

$U_K = 0{,}000494$ $V_{Cl} = 0{,}000523$; $U_{Na} = 0{,}000280$ $V_{Cl} = 0{,}000490$ $\frac{\text{cm/sec}}{\text{Volt/cm}}$.

Über eine direkte experimentelle Bestimmung der absoluten Geschwindigkeiten vgl. Lodge 1886; Whetham 1. 1894.

Elektrolytische Reibung. Zu der Geschwindigkeit U gehört das Potentialgefälle 1, zur Geschwindigkeit 1 also das Gefälle $1/U$. Um hieraus die mechanische Triebkraft zu berechnen, führen wir [C-G-S] Einheiten ein. Es ist $1/U$ Volt $= 10^8/U$ [C-G-S]. Mit dem gr-Äquivalent des Jons ist verbunden die Elektricitätsmenge 96540 Am. sec $= 9654$ [C-G-S], also mit 1 gr die Menge $9654/A$ [C-G-S], wenn A das Äquivalentgewicht des Jons ist.

Das Produkt $10^8/U \cdot 9654/A$ gibt also die auf das Gramm auszuübende Kraft in Dynen, wenn die Geschwindigkeit 1 cm/sec betragen soll. Da 1 Dyne $= 1/981$ gr-Gewicht $= 1/981000$ Kg-Gewicht, so ist jene Kraft $= 10^8/U \cdot 9654/A \cdot 1/981000 = 984000/(A \cdot U)$ Kg-Gew.

Dies gibt z. B. in der obigen Normal-NaCl-Lösung für Na ($U = 0{,}00028$; $A = 23$) $153 \cdot 10^6$ Kg-Gew. und für Cl ($V = 0{,}00049$; $A = 35{,}5$) $57 \cdot 10^6$ Kg-Gew. Die Kräfte sind also ungeheuer groſs; sie erscheinen aber von gleicher Ordnung, wie die gewöhnlichen Reibungskräfte, wenn man diese Kräfte unter Zugrundelegung der aus anderen Erscheinungen vermuteten Gröſse der Moleküle berechnet (Kohlr. 7 u. 8. 1879; 17. 1893).

Digitized by Google

20. Erfahrungsmäfsige Sätze über Leitvermögen und Jonen-Beweglichkeiten.

Über theoretisch gefundene gesetzmäfsige Beziehungen zwischen Leitvermögen und Koncentration bei schlechten Leitern und bei Säuren vgl. S. 97 Formel 1) und S. 103.

Für die guten Leiter sind allgemeine stichhaltige theoretische Beziehungen zwischen Koncentration und Leitvermögen noch nicht gefunden worden. Man ist hier auf empirische Näherungsregeln beschränkt, die aber für verdünnte Lösungen gute Dienste leisten. Wir wollen dieselben auf das Äquivalent-Leitvermögen Λ beziehen (vgl. S. 101).

Λ nimmt mit wachsender Koncentration ab. Stellt man die zusammengehörigen Zahlen für Λ und η in gewöhnlicher Weise graphisch dar, so findet man diese Abnahme sehr ungleichmäfsig verlaufend, nämlich im Anfang rasch und mit wachsender Koncentration bald schwächer werdend (Fig. 61, S. 110). Einfacher stellt sich der Verlauf dar, wenn als Abscisse nicht die gewöhnliche Koncentration η d. h. die räumliche Dichte des Elektrolytes genommen wird, sondern die Dichte seiner Teilchen auf einer in der Flüssigkeit gedachten Linie, die lineare Koncentration, welche der dritten Wurzel aus der ersteren proportional ist. Mit $\sqrt[3]{\eta}$ als Abscisse stellt sich bei den meisten Elektrolyten[1]) in verdünnten Lösungen der Verlauf von Λ in einer nur mäfsig gekrümmten Kurve, teilweise auf beträchtliche Strecken in einer genähert geraden Linie dar. Vgl. Figur 62, S. 110. Hiernach kann in verdünnter Lösung als eine Annäherung gesetzt werden

$$\Lambda = \Lambda_0 - a\sqrt[3]{\eta} \quad \text{oder} \quad = \Lambda_\infty - a \cdot \varphi^{-1/2},$$

wo Λ_0 oder Λ_∞ und a für jeden Elektrolyt konstant sind (Kohlr. 12. 1885; 17. 1893; Barmwater 1898). Λ_0 oder Λ_∞ ist das Äquivalent-Leitvermögen, welches sich für unendliche Verdünnung berechnet[2]). a hat für verschiedene Elektrolyte ungleiche Beträge,

1) Ausgeschlossen sind mehrbasische Säuren und ihre Salze mit mehrwertigen Metallen und natürlich die schlecht leitenden Säuren und Basen.

2) Der Wert Λ_0 oder Λ_∞ ist, vorbehaltlich des Unterschiedes,

Digitized by Google

die sich aber übersichtlich gruppiren. Für die Salze aus einwertigen Jonen ist a von nicht sehr verschiedener Gröfse; es beträgt bei 18° etwa 400. Z. B. ist für KCl $\Lambda = 131 - 400 \cdot \sqrt[3]{\eta}$ und für NaCl $\Lambda = 111 - 400 \cdot \sqrt[3]{\eta}$.

Der Abfall der Kurve ist um so steiler, je gröfser die Anzahl der Wertigkeiten ist, welche im Elektrolyt miteinander in Verbindung getreten sind, also bei $BaCl_2$ oder K_2SO_4 steiler als bei KCl, und bei $MgSO_4$ noch viel steiler. Auf eine merkwürdige, allerdings nur in beschränkten Gebieten der Koncentration genähert zutreffende quantitative Beziehung hat Ostwald aufmerksam gemacht, nämlich dafs die Steilheit des Abfalls beiläufig dem Produkte der beiderseitigen Wertigkeiten proportional ist, also bei $BaCl_2$ und K_2SO_4 etwa doppelt, bei $MgSO_4$ viermal so steil als bei KCl etc. (Ostwald 6. 1887; 11. 1888; Walden 1. 1887; 2. 1888).

Im Übrigen möge nur noch bemerkt werden, dafs einzelne Gruppen einen nahe gleichen Verlauf des Leitvermögens mit der Koncentration zeigen, so die starken einbasischen Säuren HCl, HBr, HJ, HNO_3, $HClO_3$ etc. Ferner die Chloride, Bromide und Jodide desselben Metalles, die gleichen Salze von Kalium und Ammonium, von Barium, Strontium und Calcium, die Sulfate von Magnesium, Zink und Kupfer (Kohlr. 4. 1876; 8. 1879). Die Beweglichkeiten organischer Säureradikale nehmen mit wachsender Molekulargröfse ab (Ostwald 4. 1885).

Formeln, die, von der Ostwald'schen Dissociationsvergleichung (S. 103) ausgehend, einen Ausdruck suchen, der auf die guten Leiter pafst, siehe bei Rudolphi 2. 1895 und van't Hoff 2. 1895.

Andere Lösungsmittel. Das Bild des Leitvermögens wässriger Lösungen gilt im Allgemeinen auch für Lösungen in anderen Flüssigkeiten. Auch hier sind die beiden Einflüsse der Dissociation und der Beweglichkeit der freien Jonen wirksam; ebenso wie bei wässrigen Lösungen sinken infolge dessen die Äquivalentleitvermögen mit steigender Koncentration. Die wässrigen Lösungen leiten am besten. Alkoholische Lösungen leiten um so schlechter, je höher der Alkohol ist.

Vgl. Lenz 3. 1882; Bouty 6. 1888; Vicentini, Fitzpatrik, Völlmer u. A.

In Flüssigkeiten wie Äther, Benzol, Xylol gelöst, zeigen selbst die

---

der etwa durch die Benutzung des ganzen Moleküls einerseits und des Äquivalents andrerseits hereintreten kann, das 1,063fache des früher oft mit μ_∞ bezeichneten Wertes.

Digitized by Google

in wässriger Lösung als beste Leiter bekannten Körper wegen der geringfügigen Dissociation ein kaum merkliches Leitvermögen.

Über das Leitvermögen in gemischten Lösungsmitteln ist wenig bekannt. Zusatz von Wasser zu alkoholischen Lösungen vermehrt das Leitvermögen; Zusatz eines Nichtelektrolytes zu wässrigen Lösungen drückt es herunter. Die mechanische Fluidität der gemischten Lösungsmittel verfolgt meist einen ähnlichen Gang wie das Leitvermögen, welches die Lösungen bekommen.

Vgl. Stephan 1882, Arrhenius 2. 1885 u. 8. 1892; Cohen 1898.

Gemische von Elektrolyten. Auch auf diesem grofsen Gebiet ist nur Einzelnes bekannt. Das Leitvermögen der Mischung zweier Lösungen — von Säuren und Basen gegenseitig abgesehen — liegt im Allgemeinen zwischen den Leitvermögen der einzelnen Lösungen, braucht aber keineswegs das arithmetische Mittel aus beiden zu sein. Das Resultat hängt unter Anderem von den Koncentrationen ab. Sucht man diese so aus, dafs das arithmetische Mittel eintritt, so nennt man beide Lösungen isohydrisch (Arrhenius 3. 1887).

Vgl. Bender 1884 u. 1887; Klein 1886; Bouty 4. 1886; 5. 1887 u. A.

Der Zusatz einer Säure zu einer starken Base oder umgekehrt vermindert natürlich das Leitvermögen, indem die leichtbeweglichen Jonen OH oder H durch weniger bewegliche Säureradikale oder Metalle ersetzt werden. Bei nur einwertigen Jonen ist blofs der Zustand gegenseitiger Neutralisirung scharf markirt, und zwar durch ein kleinstes Leitvermögen. Bei mehrwertigen scheinen auch andere Sättigungsverhältnisse sich auszuzeichnen.

Schwache Säuren, etwa Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, oder schwache organische Säuren und schwache Basen wie Ammoniak etc. verhalten sich bei dem Zusatz eines entgegengesetzten Körpers im Allgemeinen ganz anders, indem der Zusatz die Bildung von Salz bewirkt und infolge der dadurch vermehrten Dissociation das Leitvermögen zu vergröfsern pflegt. Z. B. entsteht durch Mischung der Lösungen von Essigsäure und Ammoniak, die einzeln schlecht leiten, eine gut leitende Lösung von Ammoniumacetat.

Anomalien. Hydrolyse. Fremdartige Erscheinungen treten auf, wenn der Elektrolyt mit wechselnder Koncentration seine Konstitution ändert. Stärkere Lösungen von $CdCl_2$ oder mehr noch von CdJ_2 lassen durch die Überführung des Anions, die > 1 wird (Hittorf 2. 1856) und auch durch das Leitvermögen (Grotrian 3. 1883) erkennen, dafs nicht einfach Cd und Cl oder J die Jonen sein können. Ferner können Salze mit schwacher Base (Eisenchlorid) oder schwacher Säure durch das Wasser in Lösung zersetzt werden; Hydrolyse. Natriumsilikat z. B. leitet in verdünnter Lösung so gut, dafs offenbar teilweise NaOH vorhanden ist. Zur Herstellung des Gleichgewichtszustandes zwischen NaOH und SiO_2 in Lösung können erhebliche Zeiten nötig sein (Kohlr. 15. 1892).

Digitized by Google

21. Tabellarische und graphische Darstellungen des Leitvermögens.

Tabellen. Man kann die Leitvermögen in gewöhnlicher Weise darstellen, indem man wie in Tab. 1 neben die Koncentrationen, die nach Gewichtsprocenten oder Volumprocenten, oder nach Äquivalentgehalten lauten können, die Leitvermögen schreibt. Für manche Zwecke ist dies am übersichtlichsten.

Für die wissenschaftliche Verwendung der Zahlen sowie auch für das Interpoliren aus den Tabellen aber ist es oft vorzuziehen, dafs man nicht die Leitvermögen selbst, sondern die specifischen Leitvermögen wählt, also das Leitvermögen dividirt durch die Koncentration oder multiplicirt mit der Verdünnung der Lösung. Tabb. 2 bis 5 verfolgen diese Darstellung. Diese Zahlen ändern sich weniger stark mit der Koncentration. Um das Leitvermögen der Lösung selbst zu erhalten hat man den aus den Tabellen entnommenen Wert Λ mit der Koncentration zu multipliciren.

Graphische Darstellungen. Solche geben eine bessere Übersicht; sie sind auch am meisten geeignet, die Beobachtungen auf einzelne Fehler zu kontroliren. Es gilt hier dieselbe Alternative wie bei den Tabellen. Z. B. werden in Koordinatenpapier die Koncentrationen als Abscissen eingetragen und als Ordinaten dazu entweder die Leitvermögen selbst (Fig. 60) oder aber die Quotienten aus denselben und den Koncentrationen, z. B. die Äquivalentleitvermögen Λ (Fig. 61). Diese Darstellung ist für koncentrirtere Lösungen sehr geeignet.

Man findet aber entsprechend den Ausführungen S. 107, dafs diese Kurven für die verdünnten Zustände stark gekrümmt und deswegen unbequem zu ziehen und für eine genaue Entnahme von Werten wenig geeignet sind. Auch kann man verdünnte und vielleicht 10000mal stärkere Lösungen so nicht auf demselben Blatte darstellen. Beide Übelstände werden vermieden, wenn man zur Abscisse mit Rücksicht auf S. 107 an Stelle der Volum-Koncentration die lineare, d. h. die Kubikwurzel aus der Volum-Koncentration wählt. Solche Darstellungen, die auf kleinem Raume Koncentrationen von $^1/_{100000}$ bis zu beliebiger Gröfse darstellen lassen, s. Fig. 62, auch Kohlr. 12. 1885.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

22. Wasser.

Die Herstellung und Erhaltung eines soweit reinen Wassers, wie die Berührung mit der Atmosphäre dies überhaupt ermöglicht, ist bei der Bestimmung des Leitvermögens der Lösungen und bei ihrer Anwendung auf andere Fragen eine der wichtigsten Aufgaben. Die Schwierigkeiten lassen sich durch Erwägung ihrer Ursachen und durch ausdauernde Sorgfalt in der Behandlung des Wassers bis zu einem bestimmten Grade überwinden.

Über ganz reines Wasser, welches ein Leitvermögen $0{,}04 \cdot 10^{-6}$ hat, vgl. V. In Berührung mit Luft ist dauernd äufsersten Falles $0{,}7 \cdot 10^{-6}$ zu erreichen (Kohlr. 6. 1878).

Die Bestandteile, welche dem „Wasser" sein Leitvermögen geben, sind teilweise Salze, die aus der Berührung mit dem Erdboden, den Gefäfswänden, den Fingern stammen, teilweise Stoffe aus der Luft, Ammoniumverbindungen, in chemischen Laboratorien auch wohl Salzsäure und vor allem die unvermeidliche Kohlensäure aus der Atmosphäre oder aus doppeltkohlensaurem Kalk, der sich beim Destilliren in der Siedehitze zersetzt hat.

I. Destillation.

Die Salze, mit Ausnahme einiger Ammoniaksalze, besonders des Karbonates, bleiben vorzugsweise bis zuletzt zurück, die Gase gehen vorzugsweise im Anfang mit über. Das anfängliche Destillat ist sehr oft unreiner als der Vorrat im Destillirkolben. Hierbei kann aufserdem die Verunreinigung durch den Kühler eine Rolle spielen, sei es dafs bei früherem Gebrauch Teile in denselben gespritzt waren, sei es dafs der Kühler lösliche Stoffe enthält. Waren Kalksalze eingespritzt, so kann die Verunreinigung durch dieselben sehr nachhaltig, in grofsen Destillatoren monatelang wirken. Wenn man den Kühler nicht mit einer Säure ausspülen kann, so ist eine vorübergehende Destillation eines mit Salzsäure oder Essigsäure angesäuerten Wassers oft ein gutes Mittel hiergegen.

Unter allen Umständen hat man den während der ersten Viertelstunden, oder bei einem grofsen Apparat auch Stunden, übergehenden Teil nicht als ein gutes Wasser anzusehen. Will man sicher gehen, so fängt man von Zeit zu Zeit Proben des Destillates auf und untersucht sie auf ihr Leitvermögen (§ 6 I).

Digitized by Google

Um flüchtige Säuren, insbesondere die Kohlensäure selbst festzulegen kann man dem Vorrat ein wenig Ätzkali oder Natron oder Kalkwasser zusetzen; gegen den Übergang von Ammoniak schützt eine Spur Schwefelsäure oder Phosphorsäure. Um beide Verunreinigungen zurückzuhalten, mufs natürlich zweimal destillirt werden.

Gelingt es auch, die Kohlensäure nicht mit übergehen zu lassen, so tritt solche bei der Verflüssigung des Wassers doch aus der Atmosphäre wieder ein, etwa $\frac{1}{2}$ mg/liter bei normaler Zusammensetzung der Luft und bewirkt ein Leitvermögen etwa $= 0{,}6 \cdot 10^{-6}$ (Knox 1895). Dafs man an der Mündung des Kühlers die Vermehrung der Kohlensäure durch Flammen, Atmung u. dgl. zu vermeiden hat, dafs man also z. B. die Destillirflamme unter den Abzug zu bringen oder durch Öffnen der Fenster für frische Luft im Zimmer zu sorgen hat, ist selbstverständlich. Durch geeignete Vorlagen vor eine verstöpselte Aufsaugflasche kann man die Kohlensäure auch vermindern (Fig. 63). Dann mufs aber auch später nicht nur das Aufbewahren sondern auch das Umfüllen solchen Wassers mit ähnlichen Vorsichtsmafsregeln geschehen, sonst kommt die Kohlensäure doch wieder herein.

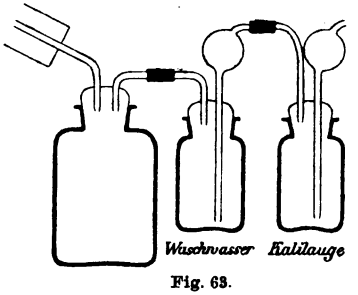

Fig. 63.

Die schwer flüchtigen Salze pflegen keine grofsen Schwierigkeiten zu machen. Wenn das Überspritzen vermieden ist, so findet man oft, dafs selbst von einem kleinen Rest noch ein gutes Destillat erzielt wird.

Zu Kühlrohren ist, aufser Platin, auch Silber oder Zinn geeignet. Doch kann auch ein gutes Glas, nachdem seine löslichen Teile durch längeren Gebrauch oberflächlich beseitigt sind, durchaus brauchbar sein.

Zur Destillation von Wasser vgl. u. A. Kohlr. 6. 1878; 14. 1891; Ostwald 6. 1887 (Kohlensäure); Pfeiffer 4. 1887; 5. 1889; Mac Gregory 1894 (Glaskühler).

Digitized by Google

II. Ausfrieren von Wasser.

Beim Gefrieren bleiben die gelösten Teile in Lösung. Geschmolzenes käufliches Eis, welches man gewaschen hatte, ist häufig ein recht reines Wasser. Zum künstlichen Ausfrieren läfst man Wasser in einer reinen Flasche bis auf einen Rest erstarren, indem man die Flasche in eine Kältemischung (Eis mit etwas Kochsalz, -8 bis $10°$ etwa) stellt und Sorge trägt, dafs das Gefrieren nur von den Wänden aus stattfindet, und dafs nicht bei zeitweiligem Herausheben Teile an der Wand schmelzen, weil bei dem Wiedererstarren das Gefäfs zerdrückt werden kann. Der flüssige Rest wird weggegossen. (Vgl. Nernst 4. 1891; Kohlr. u. Heydweiller 1. 1894.)

III. Verbesserung destillirten Wassers.

Das Leitvermögen stammt wie gesagt oft von dem Kohlensäuregehalt, der besonders grofs ist, wenn der Vorrat, wie das oft vorkommt, beträchtliche Mengen von doppeltkohlensaurem Kalk enthielt. Wasser kann daher schon durch blofses Stehen mit der Zeit weniger leitend werden (Arrhenius 1. 1884). Rascher erreicht man dies durch Schütteln in einer nur zum kleineren Teile gefüllten Flasche, wobei man die Luft über dem Wasser durch Absaugen erneuert. Am besten saugt man durch das Wasser in einer grofsen Waschflasche mit der Bunsen'schen Tropf-Luftpumpe längere Zeit (eine halbe Stunde) Luft durch, wobei, damit die Luftblasen klein sind, das Luftrohr in eine enge nach oben gerichtete Öffnung gebogen und gezogen sein mag. Der Luftstrom kann durch einen Wattepfropf, oder eine Waschflasche mit Wasser oder durch ein die Kohlensäure absorbirendes Rohr mit Bimstein und Ätzkali oder eine Waschflasche mit Alkalilösung, nachher aber noch durch eine solche mit Wasser gereinigt sein. Zuweilen vermindert man hierdurch das Leitvermögen eines Destillates auf seinen sechsten Teil (Kohlr. 14. 1891).

IV. Aufbewahrung von Wasser. Löslichkeit des Glases.

Platinflaschen geeigneter Gröfse werden selten zur Verfügung stehen. Aufbewahrung in Porzellangefäfsen wird empfohlen.

Jedes Glas gibt anfänglich lösliche Bestandteile, Alkali, Kieselsäure ev. auch Borsäure an das Wasser ab, bei Zimmertemperatur jedes Quadratdecimeter mittleren Thüringer Glases täglich etwa $^1/_{50}$ mg, gutes Glas vielleicht den fünften bis zehnten Teil davon, schlechtes (alkalireiches) aber bis zur 100fachen Menge. Bei allen Gläsern vermindert sich durch längere Berührung mit Wasser die Löslichkeit, bei guten Gläsern auf einen schliefslich sehr kleinen Betrag ($^1/_{1000}$ mg/dm^2 täglich), bei schlechten Gläsern aber ist die Löslichkeit nicht zu beseitigen, so dafs schliefslich Lösungen von $^1/_2$ Promille und mehr entstehen können, ja es gibt Gefäfse, die schon lange gebraucht sind und in denen trotzdem Wasser schon durch einmaliges rasches Ein- und Ausgiefsen verdorben wird.

Die Lösungsgeschwindigkeit wächst sehr stark mit der Temperatur, auf wenige Grade Steigerung sich verdoppelnd.

Digitized by Google

Verbessert werden die Gläser am einfachsten durch langes Auswässern, am besten warm. Auch lassen sich durch Elektrolyse erhitzten Glases zwischen Quecksilber die löslichen Bestandteile von der inneren Fläche entfernen.

Um die Güte des Glases rasch zu erkennen kann z. B. das hygroskopische Verhalten dienen. Man pulvert eine kleine Menge (1 gr) ganz fein im Achatmörser, wägt sie in einem Uhrgläschen und stellt sie etwa einen Tag lang unter eine Glocke neben Wasser. Ergibt nachher die Wägung eine Gewichtszunahme, welche wenige Procente übersteigt, so ist das Glas wahrscheinlich nicht gut. Schlechte Gläser pflegen dann bei Stehen an der Luft ihre Gewichtszunahme auch nur unvollkommen wieder zu verlieren. Auch wenn ein Glas, gewaschen und getrocknet, nach einiger Zeit Liegens an der Luft die Ladung eines Elektroskopes nicht mehr isolirt, ist es verdächtig.

Oder man bringt das gereinigte und getrocknete Gefäfs einen Tag lang neben etwas koncentrirte Salzsäure unter eine Glocke. Entsteht hierdurch eine erhebliche Trübung, so taugt das Glas nichts.

Ebenso kann man aus dem Grade der Färbung bei der folgenden Behandlung mit Eosin die Güte schätzen; wenig lösliches Glas wird dabei nur schwach gefärbt. Man sättigt Äther durch Schütteln mit Wasser, löst darin etwa 0,1 gr Eosin auf 100 cc und bringt das zu untersuchende Glas etwa 24 Stunden lang in Berührung mit dieser Flüssigkeit.

Da endlich die gelösten Stoffe das Leitvermögen des Wassers vergröfsern, so ist diese Reaktion, wenigstens für kleinere Flaschen, oft das bequemste und bei seiner Empfindlichkeit auch ein sicheres Prüfungsmittel. Man füllt ein gutes Wasser ein und untersucht dessen Leitvermögen von Zeit zu Zeit, entweder mittels eines vorsichtig gemachten Abgusses (S. 14. 15) oder indem man Tauchelektroden einführt, die selbst gutes Glas haben und in der Zwischenzeit in reinem Wasser gestanden hatten. Bei guter Beschaffenheit des Glases darf bei Zimmertemperatur das Leitvermögen von 100 cc in einer Woche höchstens etwa um $1{,}0 \cdot 10^{-6}$ zunehmen.

Um rascher zum Ziele zu kommen oder auch wenn das Glas eine zu der vorigen Probe nicht geeignete Form besitzt, kann man das folgende gröbere aber wirksamere Verfahren anwenden. Man pulverisirt eine kleine Menge (etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ gr) im Achatmörser ganz fein und bringt das Pulver mit dem etwa 100fachen Wasser in ein Fläschchen für Widerstandsbestimmung (S. 14. 15). Das Pulver soll so fein sein, dafs ein grofser Teil desselben sich nach Stunden noch nicht abgesetzt hat. Das Leitvermögen des Wassers wächst alsdann, und zwar bei schlechtem Glase sehr rasch zu einem erheblichen Betrage. Durch ein gutes Glas wird es (bei 18°) in einigen Tagen, innerhalb deren das Pulver zuweilen aufgeschüttelt wird, nicht über etwa 100 bis $150 \cdot 10^{-6}$ steigen, bei einem zweiten Aufgufs in einer Woche nicht über 30 bis $50 \cdot 10^{-6}$. Bei schlechten Gläsern werden die anfänglichen Zahlen vielleicht bis zu 6mal, die zweiten bis zu 10mal gröfser.

Digitized by Google

Vor dem Dienste zum Aufbewahren von gutem Wasser soll eine Flasche jedenfalls mit Säure, durch Ausschütteln mit Wasser und rauhem Fließpapier gereinigt und nachher eine Zeit lang ausgewässert sein; wenn sie neu ist, soll dies längere Zeit, am besten warm, geschehen.

Von einem eingeschliffenen Glasstöpsel lösen sich oft, wie man leicht bemerken wird, bei dem Eindrehen in die Flasche nicht unerhebliche Mengen Glaspulver ab. Es ist daher gut, den Stöpsel vor dem Gebrauch der Flasche absichtlich öfters einzudrehen, bis dies aufgehört hat.

Über Glaslösung vgl. u. A. Quincke 1. 1861; Warburg 1. 1884; Förster, Mylius u. Förster 1889—92; R. Weber 1891; Pfeiffer 6. 1891; Kohlr. 14. 1891.

Besonders festes Verschließen aufbewahrten Wassers ist im Allgemeinen nicht nötig. Es genügt sogar, wenn die Zimmerluft nicht ungewöhnlich verdorben ist, loses Bedecken durch ein umgestülptes Glas. Ein solcher Schutz gegen Staub ist auch über einem eingeschliffenen Stöpsel anzubringen.

Kork und Kautschuk sind zum Verschluß nicht anzuwenden. Auch Spritzflaschen mit eingeschliffenem Helmstück sind denjenigen mit Kautschuk vorzuziehen.

Paraffin pflegt dem Wasser gar nicht zu schaden. Weniger gute Flaschen kann man daher durch Auskleiden mit geschmolzenem Paraffin brauchbar machen.

Bei dem Ausgießen entstehen oft Verunreinigungen. Der Ausgußrand soll nie mit dem Finger berührt werden. Trotzdem gieße man immer über dieselbe Gegend des Randes aus und lasse die ersten Tropfen weglaufen.

Einen bestimmten Temperaturkoefficienten (vgl. § 24) hat das durch die verschiedensten Ursachen entstehende Leitvermögen des Wassers natürlich nicht. Im Mittel mag man erfahrungsgemäß für die meisten Zwecke genügend bei Zimmertemperatur etwa 0,02, d. h. 2 % auf 1° annehmen (Pfeiffer 4. 1887).

V. Ganz reines Wasser.

Solches ist wohl erst einmal hergestellt worden. In Berührung mit der Atmosphäre existirt es nicht (vgl. S. 112). Zur Herstellung und Untersuchung auf das Leitvermögen muß man das Elektrodengefäß an eine kleine Retorte anschmelzen, die den Wasservorrat enthält. Das Ganze wird von der Quecksilberluftpumpe unter Vermeidung von Fett-Dichtungen längere Zeit evakuirt, abgeschmolzen und dann wird bei mäßiger Temperatur, indem man das Elektrodengefäß mit einer Kältemischung kühlt, aus der Retorte in das erstere destillirt. Elektroden und Gefäße müssen aber lange vorher ausgewässert sein, um dem kleinen Werte nahe zu kommen, welchen das reine Wasser besitzt.

Derselbe beträgt bei 18° etwa $\varkappa = 0{,}04 \cdot 10^{-6}$, ist also fast 20 mal kleiner als derjenige des besten mit der Luft in Kontakt befindlichen Wassers. Er wird 0,01 bei 0°, 0,17 bei 50°, steigt also rapide mit der Temperatur (Kohlr. u. Heydweiller 1. 1894).

Digitized by Google

Temperatur.

23. Temperaturbäder (vgl. auch Kohlrausch, Leitfaden § 7, Nr. 27 u. 28; Ostwald, Phys.-Chem. Messungen S. 60).

Widerstandsgefäfse ohne eigenes Thermometer sind im Bade mit Thermometer zu gebrauchen und dabei hinreichend lange auf konstanter Temperatur zu erhalten, dafs die innere und äufsere Temperatur gleich gesetzt werden kann, also um so länger, je dicker die Wände und je gröfser die Masse des Elektrolytes ist. Die Beobachtung selbst läfst dies erkennen; es mufs gewartet werden, bis der Widerstand konstant geworden ist.

Die Temperatur ist natürlich um so leichter konstant zu erhalten, je gröfser die Masse der Badflüssigkeit ist. Viel läfst sich auch verbessern, wenn man die Wände des Bades mit Holz oder Filz bekleidet oder Doppelwände mit zwischenliegender Luftschicht hat und wenn man die Oberfläche thunlichst zudeckt.

Eine Temperatur, die 1 bis 2° höher ist als die der Umgebung entsprechende, läfst sich z. B. durch geeignetes Bestrahlen mit einer seitlichen oder oben angebrachten Flamme, durch zeitweiliges Wärmen mit der Hand oder kurzes Bestreichen mit der Bunsenflamme oder Zugiefsen gewärmten Wassers, unter Anwendung einiger Mühe wohl vollkommener mittels eines Schlangenrohrs konstant erhalten, durch welches warmes Wasser in einer, durch einen Hahn zu regelnden Menge geleitet wird.

Für höhere Temperaturen ist das einfachste Mittel eine in gröfserem Abstande unter dem Bade angebrachte Heizung durch eine Gasflamme oder einen Kranz von Flämmchen aus einem Rohre mit Löchern. Mit einem Thermoregulator läfst der erforderliche Gaszutritt sich automatisch reguliren, natürlich je nach der Vollkommenheit des Regulators mit mehr oder weniger konstantem Ergebnis.

Auch ein Schlangenrohr mit Wasserdampf kann gebraucht werden.

Alle Bäder, besonders aber solche von anderer als der Umgebungstemperatur sollen gerührt werden. Ist der Temperaturunterschied beträchtlich, so rührt man beständig, etwa mit einem mechanischen Rührwerk (eine einfache Anordnung bei Ostwald 10. 1888); sonst genügt eine Feder oder dgl., mit welcher das Bad von Zeit zu Zeit bewegt wird. Darauf dafs nicht durch die Flüssigkeit des Bades oder, sowohl in niederer wie in hoher Temperatur durch Niederschläge aus der Atmosphäre oder aus Dämpfen des Bades ein Nebenschlufs zwischen den Elektroden gebildet wird, ist zu achten.

Als Badflüssigkeit wird man meistens Wasser nehmen, da die Flüssigkeiten, welche als Nichtleiter sonst vorzuziehen wären, wie Petroleum, die Reinigung umständlich machen, auch wegen ihrer geringen specifischen

Digitized by Google

Wärme weniger konstant in der Temperatur sind. Bequem ist wegen der Konstanz, aufser der Lufttemperatur, die von 0° im Gemisch von Eis und Wasser. Für hohe Temperaturen kann aufser heifsem, vielleicht siedendem Wasser besonders ein Bad aus geschmolzenem Paraffin in Frage kommen.

Rascher als mit Hilfe von Bädern arbeitet es sich mit solchen Gefäfsen, die ein Thermometer enthalten und unter Anwendung weicher Verbindungen oder nach dem Fig. 2 u. 3 S. 14 gezeichneten Muster geschüttelt werden können, da die gewünschte Temperatur dann durch ein wärmeres Bad, unter Umständen auch über einer kleinen Bunsen- oder Weingeistflamme bewirkt werden darf. Die Ablesung der Temperatur und des Widerstandes macht man sofort nach dem letzten Schütteln. Weicht die Temperatur von der Umgebung stärker ab, so stellt man dabei das Gefäfs in einen geeignet mit Watte, Filz oder Flaum ausgepolsterten oder auch einen so mit Korkschneiden versehenen Raum, dafs das Gefäfs mit den Wänden nicht in Berührung kommt.

Besonders bequem sind hier Temperaturen, die sich durch Fassen mit der Hand erhalten lassen, also bis zu 30° oder etwas darüber.

24. Temperatur und Leitvermögen.

Das Leitvermögen aller Elektrolyte wächst beträchtlich mit steigender Temperatur, im Allgemeinen auf 1° um mehrere Procente. Alle Messungen müssen also die Temperatur berücksichtigen.

Die jetzt gebrauchte Temperaturskale beruht auf der Annahme einer gleichmäfsigen Ausdehnung des Wasserstoffs. Von der Ablesung an einem nach festen Punkten und Kaliber richtigen und ev. wegen herausragenden Fadens korrigirten Quecksilberthermometer ist, um sie auf die Wasserstoffskale zu reduciren, abzuziehen: für Jenaer Glas

bei	5°	10°	15°	18°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Glas 16	0,03	,06	,08	,09	,09	,10	,11	,12	,12	,12	,12°
Glas 59	0,01	,02	,03	,03	,04	,04	,04	,04	,03	,03	,03°

[Vgl. Scheel, Wied. Ann. 58, 168. 1896.]

Man beachte aber, dafs in einer neuen Fehlertabelle eines Thermometers z. B. aus der Physik.-Techn.-Reichsanstalt, bei neueren Thermometern aus guter Quelle sogar schon in der Teilung, diese Korrektion bereits angebracht ist!

Das Verhältnis des Zuwachses auf 1° zu dem ganzen Leitvermögen heifst Temperaturkoefficient.

Digitized by Google

I. Temperaturkoefficient.

Derselbe beträgt in mittlerer Temperatur bei verdünnten Lösungen von Salzen 0,020 bis 0,023, von Säuren, auch einigen sauren Salzen 0,009 bis 0,016, von Ätzkalien 0,019 bis 0,020; er ist von dem Grade der Verdünnung wenig abhängig.

Bei Steigerung der Koncentration nimmt der Temperaturkoefficient der Lösung in fast allen Fällen zuerst ein wenig ab. In höheren Gehalten pflegt er wieder zu wachsen, doch setzt sich bei den Chloriden und Nitraten des Kaliums und Ammoniums und bei einigen anderen Salzen die Abnahme bis zur koncentrirten Lösung fort. (Vgl. u. A. Grotrian 1. 1874; Kohlr. u. Grotrian 1875; K. 3. 8. 12. 1876—85; Déguisne 2. 1895; Jahn 1895; Euler 1. 1896.) Zahlenwerte s. in Tab. 1 u. 6.

Man kann den Temperaturkoefficienten c so definiren, daſs man den Zuwachs des Leitvermögens mit der Temperatur durch das Leitvermögen bei derselben Temperatur dividirt; z. B. wenn bei den nicht weit auseinanderliegenden Temperaturen t_1 und t_2 die Leitvermögen $\varkappa_1$ und $\varkappa_2$ gefunden worden sind, so dividirt man durch den Mittelwert $\varkappa = \frac{1}{2}(\varkappa_1 + \varkappa_2)$, und erhält $c_t = \frac{1}{\varkappa} \frac{\varkappa_2 - \varkappa_1}{t_2 - t_1}$. Dieser Wert bezieht sich dann auf die Mitteltemperatur zwischen t_1 und t_2 nämlich auf $t = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$. Dies läſst sich auch so ausdrücken: wenn bei einer Temperatur t durch den kleinen Temperaturzuwachs dt ein Leitvermögen $\varkappa_t$ den Zuwachs $d\varkappa$ erfährt, so ist $\frac{d\varkappa}{dt} = c_t \cdot \varkappa_t$ oder auch $c_t = \frac{1}{\varkappa_t} \frac{d\varkappa}{dt}$.

Für die meisten Zwecke ist es aber bequemer, wenn man das Leitvermögen bei einer bestimmten Temperatur zu Grunde legt und immer durch dieses dividirt (so, wie der Ausdehnungskofficient eines Gases definirt wird). Als diese Normaltemperatur kann z. B. 0° genommen werden; aber praktischer ist es meistens, hier die mittlere Temperatur von 18° zu wählen, für welche das Leitvermögen gewöhnlich angegeben wird. Letzterer Wert sei durch $\varkappa_{18}$ bezeichnet; bei zwei Temperaturen t_1 und t_2 sei das Leitvermögen gleich $\varkappa_1$ und $\varkappa_2$, dann setzt man also

$$c = \frac{1}{\varkappa_{18}} \frac{\varkappa_2 - \varkappa_1}{t_2 - t_1} \qquad 1)$$

und nennt die Zahl den mittleren Temperaturkoefficienten zwischen t_1 und t_2 $\left(\text{oder auch bei der Mitteltemperatur } \frac{t_1 + t_2}{2}\right)$, ausgedrückt in Teilen des Leitvermögens bei 18°.

Dann ist also $c \cdot \varkappa_{18}$ der Zuwachs des Leitvermögens in der betreffenden Temperaturgegend auf 1°. Liegt die Temperatur t selbst nicht weit von 18°, so ist

$$\varkappa_t = \varkappa_{18}\big(1 + c(t - 18)\big) \text{ oder } \varkappa_{18} = \frac{\varkappa_t}{1 + c(t - 18)}. \qquad 2)$$

Digitized by Google

Es ist zu beachten, daſs man bei der erheblichen Gröſse von c den letzteren Ausdruck nur dann in $\varkappa_{18} = \varkappa_t\big(1 + c(18 - t)\big)$ umformen darf, wenn $18 - t$ einen kleinen Betrag hat.

Der Anstieg des Leitvermögens mit der Temperatur ist im Allgemeinen in nicht zu groſsen Temperaturintervallen einigermaſsen, aber nicht genau, gleichmäſsig. Man drückt letzteres aus, indem man ein quadratisches Glied hinzunimmt und schreibt

$$\varkappa_t = \varkappa_0\left[1 + c(t - t_0) + c'(t - t_0)^2\right]. \qquad 3)$$

Für t_0 kann 0° oder auch wohl 18° gesetzt werden. Aus einer solchen Formel erhält man den Temperaturkoefficienten bei t, ausgedrückt in Teilen des Leitvermögens bei t_0 als

$$c + 2c'(t - t_0).$$

Der Faktor c′ ist meistens positiv, d. h. das Leitvermögen wächst mit der Temperatur beschleunigt.

Verdünnten Lösungen mancher Säuren (z. B. HNO_3, H_2SO_4), saurer Salze ($KHSO_4$), auch einiger neutraler Salze ($CuSO_4$) kommt ein negatives c′ zu; der Zuwachs ist in höherer Temperatur kleiner und kann in einzelnen Fällen in einer gewissen Gegend der Temperatur, die meistens hoch liegt, verschwinden. Vgl. S. 100. Solche Lösungen, die diesen Zustand in mittlerer Temperatur haben, sind für manche Zwecke bequem z. B. für Flüssigkeitsrheostaten (§ 11, III).

Beobachtungen in weiten Temperaturgrenzen s. bei Grotrian 1. 1874; Kohlr. u. Grotrian 1875; K. 8. 1879; Arrhenius 4. 1889; Krannhals 1890; Schaller 1898.

II. Bestimmung des Temperaturkoefficienten.

Über Bäder und Beobachtung bei verschiedenen Temperaturen siehe I. Zur Beobachtung eignen sich z. B. die Gefäſse Fig. 2 S. 14.

Wegen der Glasausdehnung findet man den Temp.-Koeff. um den Betrag des (linearen) Ausd.-Koeff. des Glases zu hoch. Der Fehler ist verschwindend klein.

Ist nun bei den Temperaturen t_1 und t_2 das Leitvermögen gleich $\varkappa_1$ und $\varkappa_2$ gefunden worden, so berechnet sich nach dem Vorigen der T.-K. c

$$c = \frac{1}{\varkappa}\frac{\varkappa_1 - \varkappa_2}{t_1 - t_2}, \qquad 1)$$

wo $\varkappa$ im Nenner für diejenige Temperatur (z. B. 0°, 18° etc.) zu nehmen ist, also bekannt sein oder ermittelt werden muſs, die man als Ausgangspunkt wählen will.

Ist wie gewöhnlich eine der Beobachtungstemperaturen selbst, z. B. t_2 diese Ausgangstemperatur, die wir nun mit t_0 bezeichnen wollen, so hat man

Digitized by Google

$$c = \frac{1}{\varkappa_0} \frac{\varkappa_1 - \varkappa_0}{t_1 - t_0}. \qquad 1a)$$

Statt dessen kann man, wenn w_0 und w_1 die bei t_0 und t_1 beobachteten Widerstände der Flüssigkeit sind, auch rechnen

$$c = \frac{1}{w_1} \frac{w_0 - w_1}{t_1 - t_0}. \qquad 1b)$$

Anwendung der quadratischen Formel 3. Es werden Beobachtungen mindestens bei drei Temperaturen erfordert. Diese seien t_0, t_1, t_2, die zugehörigen Leitvermögen $\varkappa_0$, $\varkappa_1$, $\varkappa_2$, wobei zur Einfachheit angenommen sei, dafs t_0 die Ausgangstemperatur sein möge.

Man will also die Formel anwenden

$$\varkappa = \varkappa_0 [1 + c(t - t_0) + c'(t - t_0)^2] \qquad 3)$$

oder

$$\frac{1}{\varkappa_0} \frac{\varkappa - \varkappa_0}{t - t_0} = c + c'(t - t_0). \qquad 3a)$$

Durch die Beobachtungen liegen demnach die Gleichungen vor

$$\frac{1}{\varkappa_0} \frac{\varkappa_1 - \varkappa_0}{t_1 - t_0} = c + c'(t_1 - t_0)$$

und

$$\frac{1}{\varkappa_0} \frac{\varkappa_2 - \varkappa_0}{t_2 - t_0} = c + c'(t_2 - t_0). \qquad 4)$$

Hieraus findet sich durch Subtraktion sofort c', nämlich

$$c' = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{\varkappa_0} \left(\frac{\varkappa_2 - \varkappa_0}{t_2 - t_0} - \frac{\varkappa_1 - \varkappa_0}{t_1 - t_0} \right). \qquad 5)$$

Man beachte, dafs die beiden Ausdrücke in der Klammer, sobald man den gemeinsamen Faktor $\frac{1}{\varkappa_0}$ vor jeden Ausdruck schreibt, die mittleren Temperaturkoefficienten zwischen t_0 und t_2 sowie t_0 und t_1 sind. Diese beiden kann man also in gewöhnlicher Weise berechnen und hat dann ihre Differenz durch $t_2 - t_1$ zu dividiren.

Aus dem bekannten Wert von c' erhält man c mittels einer der beiden Gleichungen 4, z. B.

$$c = \frac{1}{\varkappa_0} \frac{\varkappa_1 - \varkappa_0}{t_1 - t_0} - c'(t_1 - t_0). \qquad 6)$$

Am bequemsten für die Rechnung und am günstigsten für die Genauigkeit des Resultats nimmt man die drei Temperaturen in gleichem Abstande, so dafs $t_1 - t_0 = t_2 - t_1$ ist. Diese Differenz heifse t. Dann wird aus Gl. 5

$$c' = \frac{1}{\varkappa_0} \frac{\frac{1}{2}(\varkappa_0 + \varkappa_2) - \varkappa_1}{t^2} \qquad 7)$$

und aus 6

$$c = \frac{1}{\varkappa_0} \frac{\varkappa_1 - \varkappa_0}{t} - c't.$$

oder auch

$$c = \frac{1}{\varkappa_0} \frac{2(\varkappa_1 - \varkappa_0) - \frac{1}{2}(\varkappa_2 - \varkappa_0)}{t} \qquad 8)$$

Bei der Beobachtung diese Temperaturen ganz genau innezuhalten ist nicht nötig; aus Werten, welche dicht dabei liegen, kann man z. B. mittels

Digitized by Google

einer Kurve die genauen Punkte leicht ableiten. Dies ist bequemer als nach der vollständigen Formel (5) etc. zu rechnen, besonders wenn viele Beobachtungen nach demselben Schema gemacht worden sind.

Man kann statt dessen rechnerisch auch so verfahren. Die Beobachtungstemperaturen seien statt der gleichweit von einander abstehenden t_0, t_1, t_2, wobei $t_1 - t_0 = t_2 - t_1 = t$ ist, $t_0 + \vartheta_0$, $t_1 + \vartheta_1$, $t_2 + \vartheta_2$ gewesen; die ϑ seien kleine Gröfsen. Man rechnet c und c′ zunächst nach Formel 7 u. 8 aus, als ob die Temperaturen genau inne gehalten worden wären. Alsdann bezeichne man

$$\vartheta_1 - \vartheta_0 = \delta_1 \qquad \vartheta_2 - \vartheta_0 = \delta_2$$

und korrigire die berechneten genäherten c und c′ bez. um:

$$\begin{aligned} \text{c um} \quad & + c \cdot \frac{\frac{1}{2}\delta_2 - 2\delta_1}{t} + 2c' \cdot (\delta_2 - 2\delta_1) \\ \text{c′ um} \quad & + c \cdot \frac{\delta_1 - \frac{1}{2}\delta_2}{t^2} + 2c' \cdot \frac{\delta_1 - \delta_2}{t}. \end{aligned} \qquad 9)$$

Sind mehr als die drei notwendigen Beobachtungen gemacht, so lassen dieselben sich nicht genau durch die quadratische Gleichung darstellen. Systematisch geschieht die Ausgleichung dann durch Anwendung der Rechnung mit kleinsten Quadraten (vgl. z. B. Kohlr., Leitfaden § 3).

Die quadratische Formel ist auch nur eine Annäherung, die aber meist recht grofse Temperaturintervalle genügend darstellt.

In höheren Temperaturen kommt als Fehlerquelle leicht eine Verdampfung des Lösungsmittels, bei verdünnten wässrigen Lösungen auch Verunreinigung durch Auflösen der Gefäfswand oder durch das Zurückfliefsen von am Deckel etc. kondensirten Dämpfen herein. Man kontrolirt dies durch Wiederholung der Messung bei gewöhnlicher Temperatur zum Schlufs. Wenn der Endwert mit dem Anfangswert auch durch rasches Verfahren nicht in Übereinstimmung zu bringen ist, so bleibt oft nichts übrig, als das Mittel aus dem anfänglichen und schliefslichen Leitvermögen und den beiderseitigen Temperaturen zu nehmen.

Die abgelesenen Temperaturen, abgesehen von den Korrektionen, welche das Thermometer an sich hat, sind, wenn sie von der Umgebung abweichen, wegen des herausragenden Fadens zu korrigiren. (Vgl. z. B. Kohlr., Leitfaden § 22.)

25. Beobachtung und Reduktion eines Leitvermögens.

Methoden und Hilfsmittel der Beobachtung. Hierüber ist in den §§ 5 bis 11 alles gesagt. Kurz zusammengefafst ist der Gang einer Messung: Man füllt ein Widerstandsgefäfs

Digitized by Google

(§ 5 und 6) mit der Flüssigkeit und mifst ihren Widerstand in demselben (§ 7 bis 11). Beträgt dieser Widerstand w Ohm, und ist die Kapacität des Gefäfses $= C$ (§ 15), so findet sich das Leitvermögen $\varkappa = \frac{C}{w}$.

Bei Messungen in der Brücke mit Schleifkontakt (S. 38) durch Vergleichung mit einem Rheostatenwiderstande R ist $w = R \cdot a/b$, also $\varkappa = \frac{C}{R}\frac{b}{a}$. Wer lieber multiplicirt als dividirt, kann also b/a statt a/b suchen, d. h. z. B. die Flüssigkeit an die grofsen Zahlen der Brücke schalten oder bei der gewöhnlichen Schaltung die Spalte b der Obach'schen Tabellen benutzen.

Temperatur-Reduktion. Die Temperatur t wird entweder an dem im Widerstandsgefäfs enthaltenen Thermometer beobachtet (Figg. 2, 11 u. 12, S. 14 u. 17), oder indem das Gefäfs im Bade mit Thermometer steht (§ 23). Am einfachsten ist es natürlich, wenn t gleich diejenige Temperatur ist, für welche man das Leitvermögen kennen will. Soll aber das Leitvermögen von einer Beobachtungstemperatur t auf die benachbarte t_0 umgerechnet werden, so mufs man den Temperatureinfluſs bestimmen oder anderweitig kennen.

1) Man beobachtet bei einer zweiten Temperatur t' das Leitvermögen $\varkappa'$. Im Allgemeinen kann man annehmen, dafs das Leitvermögen sich nahe gleichförmig mit der Temperatur ändert. Dann hat man also die Proportion $(\varkappa_0 - \varkappa) : (\varkappa' - \varkappa) = (t_0 - t) : (t' - t)$, also den gesuchten Wert

$$\varkappa_0 = \varkappa + (\varkappa' - \varkappa)\frac{t_0 - t}{t' - t}.$$

2) Man benutzt, wenn der Körper zu den in Tab. 1 oder 6 gegebenen gehört, die dort enthaltenen Temperaturkoefficienten c. Ist die Koncentration bekannt, so kann man dies direkt thun; ebenso wenn man das Leitvermögen $\varkappa$ bei 18° kennt, durch welches ja die Lösung ebenso bestimmt wird, wie durch die Koncentration. (Nur mufs man im letzteren Falle bei Flüssigkeiten, die ein Maximum des Leitvermögens haben, wie z. B. die meisten Säuren, wissen, auf welcher Seite vom Maximum man sich befindet.) Lag die Beobachtungstemperatur t nicht hin-

Digitized by Google

reichend nahe bei 18°, so reducirt man mit einem Näherungswert des Temp.-K., wobei 0,02 für die meisten Fälle genügen wird, beiläufig auf 18°, indem man das beobachtete $\varkappa$ um $0{,}02 \cdot \varkappa(18 - t)$ vergrößert, und entnimmt nun zu diesem Wert aus der Tabelle den Koefficienten c. Weicht dieses c von 0,02 erheblich ab, so kann man das Verfahren mit diesem besseren Werte nun leicht genauer ausführen.

Z. B. sei für eine KCl-Lösung bei 20,60° gefunden $\varkappa = 0{,}1719$. Um genähert auf 18° zu reduciren, subtrahiren wir $0{,}02 \cdot 0{,}1719 \cdot 2{,}6 = 0{,}0089$ und erhalten $\varkappa_{18} = 0{,}1630$ ungefähr. Die Tabelle gibt

zum Leitvermögen	0,1359	0,2020	also gilt für	0,1630
den Temp.-Koeff.	= 0,0188	0,0179;	der Temp.-K.	0,0185.

In der Voraussetzung, daſs das Leitvermögen sich mit der Temperatur gleichförmig ändert, bez. daſs die Ungleichförmigkeit keinen für den vorliegenden Zweck unstatthaften Fehler bringt, hat man nun offenbar $\varkappa = \varkappa_{18}\big(1 + c(t - 18)\big)$ und $\varkappa_0 = \varkappa_{18}\big(1 + c(t_0 - 18)\big)$, so daſs man $\varkappa_0$ findet

$$\varkappa_0 = \varkappa \frac{1 + c(t_0 - 18)}{1 + c(t - 18)},$$

wofür, wenn t und t_0 nicht weit von 18 abliegen, gesetzt werden darf $\varkappa_0 = \varkappa\big(1 + c(t_0 - t)\big)$.

Ist die, t_0 genannte, Temperatur, auf welche die Beobachtung umgerechnet werden soll, 18° selbst, so folgt

$$\varkappa_{18} = \frac{\varkappa}{1 + c(t - 18)}.$$

Es soll z. B. die vorige KCl-Lösung auf $t_0 = 25°$ reducirt werden. Dann ist $\varkappa_{25} = 0{,}1719 \frac{1 + 0{,}0185(25{,}0 - 18)}{1 + 0{,}0185(20{,}6 - 18)} = 0{,}1719 \cdot \frac{1{,}1295}{1{,}0481} = 0{,}1851$.

Oder wir wollen auf 18 reduciren:

$$\varkappa_{18} = \frac{0{,}1719}{1 + 0{,}0185(20{,}6 - 18)} = \frac{0{,}1719}{1{,}0481} = 0{,}1640.$$

Je gröſser die Temperaturkorrektionen werden, desto unsicherer wird natürlich das korrigirte Resultat, daher halte man sich bei der Beobachtung möglichst in der Nähe der Temperatur, für welche man das Leitvermögen kennen will.

Digitized by Google

Chemische Anwendungen des Leitvermögens wässriger Lösungen.

26. Analyse stärkerer Lösungen mittels des Leitvermögens.

I. Einzelne Elektrolyte.

Enthält eine Lösung nur einen, bekannten Stoff, so läfst sich ihr chemischer Gehalt nach physikalischen Eigenschaften aus Tabellen entnehmen. Am häufigsten wird das specifische Gewicht hierzu gebraucht. Die elektrische Leitfähigkeit läfst sich aber mit Hilfe der Tabb. 1 bis 5 ebenfalls, und zwar auch in Fällen verwenden, wo das andere Mittel versagt, nämlich besonders bei verdünnten Lösungen; denn charakteristisch für den Gehalt ist bei dem specifischen Gewicht nur der, hier sehr kleine Überschufs über Eins, bei dem Leitvermögen aber der ganze Betrag.

Nach anderer Richtung ist diese Anwendung des Leitvermögens jedoch beschränkt, nämlich erstens überhaupt auf Elektrolyte und unter diesen wieder, wenn man vor kleinen Verunreinigungen nicht sicher ist, auf die guten Leiter.

An einigen Beispielen soll die Analyse mittels des Leitvermögens, welche einer ausgedehnten Entwickelung fähig ist, gezeigt werden.

Der gelöste Körper gehöre zu denen, die in Tabelle 1 mit ihren zusammengehörigen Leitvermögen und Koncentrationen aufgeführt sind. Wurde das Leitvermögen nicht bei der in der Tabelle angegebenen Temperatur gemessen, so reduciren wir es zunächst nach § 25 auf diese Temperatur. Der reducirte Wert heifse $\varkappa$; im Allgemeinen wird derselbe aber nicht direkt in der Tabelle vorkommen.

Erster Fall. Es handele sich um eine Lösung, deren

Digitized by Google

Leitvermögen sich nicht sehr ungleichförmig mit der Koncentration ändert, was bei den meisten Körpern in mäfsiger Koncentration zutrifft. Man interpolirt dann aus den beiden nächstbenachbarten Zahlen, zwischen denen $\varkappa$ liegt, die zugehörige Koncentration gerade so, wie man zu einem bekannten Logarithmus die Zahl aufschlägt.

Als Beispiel diene die in § 25 behandelte KCl-Lösung mit $\varkappa_{18} = 0{,}1640$. Die Tabelle gibt die Koncentration

$$\left.\begin{array}{l} 10\,\% \text{ für } 0{,}1359 \\ 15\,\% \text{ „ } 0{,}2020 \end{array}\right\} \text{ also auf } 1\,\% \text{ die Änderung des Leitvermögens } \frac{0{,}2020 - 0{,}1359}{5} = \frac{0{,}0661}{5} = 0{,}01322.$$

Unsere Lösung hat demnach die Koncentration

$$10\,\% + \frac{0{,}1640 - 0{,}1359}{0{,}01322} = 10 + \frac{0{,}0281}{0{,}01322} = 10 + 2{,}13 = 12{,}13\,\%.$$

Zweiter Fall. Die Änderung des Leitvermögens mit der Koncentration finde (in einer stark gekrümmten Kurve, Fig. 60, S. 110) mit stark ungleichen Differenzen statt. Alsdann darf man nicht so wie vorhin interpoliren. Man kann aber graphisch verfahren. Man zeichnet nämlich aus Tabelle 1 ein Stück der Kurve mit den Koncentrationen als Abscissen und den Leitvermögen als Ordinaten, oder hier vielleicht besser umgekehrt, in Millimeterpapier ein und findet dann die zu unserem $\varkappa$ gehörige Koncentration aus der Kurve.

Über ein anderes Verfahren bei verdünnten Lösungen, welches aber unter Umständen auch hier brauchbar sein kann, vgl. § 27 I.

Dritter Fall. Der Körper gebe bei einer bestimmten Koncentration der Lösung ein Maximum des Leitvermögens (wie z. B. die meisten Säuren und viele Salze); dann gibt es zu einem und demselben Leitvermögen im Allgemeinen zwei Koncentrationen, die ihm entsprechen können. Wenn z. B. für eine Schwefelsäurelösung das Leitvermögen bei 18° gleich 0,600 bekannt ist, so kann dieses nach Tab. 1 sowohl den Gehalt 17,6 wie 46,2% bedeuten.

Diese Zweideutigkeit läfst sich z. B. durch eine genäherte Kenntnis des specifischen Gewichts heben; H_2SO_4 17,6% würde 1,12, 46,2% aber 1,36 haben. Oder man kann sich leicht überzeugen, ob ein wenig Wasserzusatz das Leitvermögen vermehrt

Digitized by Google

oder vermindert; im ersteren Falle ist man bereits jenseit des Maximums, im anderen noch diesseits.

Vierter Fall. In der Nähe des Maximums selbst freilich wird die Bestimmung wegen der langsamen Änderung des Leitvermögens mit dem Gehalt ungenau. Dieser Mangel ist aber dadurch zu beseitigen, dafs man die zu analysirende Lösung durch Zufügung etwa der gleichen oder auch der doppelten Wassermenge in bekanntem Verhältnis verdünnt, die so entstandene Lösung untersucht und ihren gefundenen Gehalt durch Multiplikation mit dem Verdünnungsverhältnis auf die ursprüngliche Lösung zurückrechnet.

Wenn aufser einem einzigen Elektrolyt in der Lösung ein Nichtelektrolyt von beträchtlicher Koncentration enthalten ist, so kann man die für wässrige Lösungen geltenden Tabellen nicht anwenden, sondern müfste den Einflufs der Beimengung auf das Leitvermögen besonders bestimmen, z. B. in Tabellen darstellen.

Über die für die Technik wichtige Bestimmung des Gehalts von unorganischen Bestandteilen in Zuckerlösungen vgl. z. B. Reichert 1889.

II. Analyse von Gemischen zweier Elektrolyte.

1) Lösungen. Eine Lösung enthalte zwei bekannte Elektrolyte in unbekannten Koncentrationen. Um beide Mengen zu bestimmen, müssen jedenfalls zwei Eigenschaften der Lösung ermittelt werden, also aufser dem Leitvermögen etwa das specifische Gewicht oder das Lichtbrechungsverhältnis etc. Es müfsten ferner Tabellen oder Formeln vorliegen, durch welche die beiden Eigenschaften in ihrer Abhängigkeit von den beiden gleichzeitigen Koncentrationen dargestellt werden. Unter dieser Voraussetzung würde in vielen Fällen die Aufgabe durch eine Kombination des Leitvermögens mit dem specifischen Gewicht ausführbar sein. Liegt in einem chemischen Betriebe die Aufgabe, zwei bestimmte Körper in Lösung ihrer Menge nach zu ermitteln, sehr häufig vor, so kann die Ausarbeitung von Tabellen für diesen Fall sich lohnen.

2) Trockene Gemische aus zwei Salzen. Die Aufgabe besteht darin, anzugeben, in welchem Verhältnis die beiden

Digitized by Google

Körper gemischt sind. Dem Stoffe nach werden dieselben als bekannt angenommen. Also z. B. es sei ein Salz gegeben, von dem man weifs, dafs es nur mit einem bestimmten anderen Körper verunreinigt sein kann; letzteres soll festgestellt bez. der Grad der Verunreinigung soll ermittelt werden. Für diese Aufgabe bietet sich grundsätzlich der folgende Weg.

Man löst die Substanz immer zu einer bestimmten Gesamtkoncentration auf, etwa 5 gr auf 100 ccm und ermittele bei einer bestimmten Temperatur das Leitvermögen der Lösung. Einesteils nimmt man die reine Substanz oder bekannte Mischungsverhältnisse (5 : 95, 10 : 90 etc.) und konstruirt dadurch eine Tabelle oder Kurve, die zu den Leitvermögen das Mischungsverhältnis ergibt. Daraus kann man dann zu dem beobachteten Leitvermögen einer unbekannten Mischung deren Zusammensetzung entnehmen. Vorausgesetzt ist, dafs das Leitvermögen sich mit dem Mischungsverhältnis hinreichend stark ändere.

Dies ist im Allgemeinen etwas umständlich und wird sich nur dann lohnen, wenn dieselben beiden Körper oft vorkommen. Es liegt aber ein besonderer Fall vor, in welchem das Verfahren einfach ist und die chemische Analyse wirksam vertreten kann, nämlich wenn man es mit dem Gemisch zweier Salze zu thun hat, welches in Lösung das verhältnismäfsige arithmetische Mittel der einzelnen Leitvermögen gibt.

Häufig ist dieser Fall nicht; er tritt im Allgemeinen nur bei Körpern ein, die chemisch besonders nahe verwandt sind. Da aber die chemische Trennung gerade bei solchen Körpern schwierig zu sein pflegt, so kann die Leitungs-Analyse hier sehr nützlich sein.

Gruppen solcher Körper sind z. B. die Chloride, Bromide und Jodide desselben Metalls oder die Salze nahe verwandter Metalle mit derselben Säure. Hier weifs man oder wird es bei der Untersuchung finden, dafs, besonders bei der Mischung mäfsig verdünnter Lösungen von nicht sehr verschiedener Koncentration nahe das arithmetische Mittel eintreten wird.

Dieser Satz sagt z. B.: zwei gleichprocentige Lösungen von dem Elektrolyt I bezw. II mögen das Leitvermögen $\varkappa_1$ bez. $\varkappa_2$ zeigen. Eine ebenfalls gleichprocentige Lösung eines Gemisches aus p_1 bez. p_2 Teilen beider Körper zeigt dann das Leitvermögen

Digitized by Google

$\varkappa = \frac{p_1 \varkappa_1 + p_2 \varkappa_2}{p_1 + p_2}$. Nehmen wir zur Einfachheit p_1 und p_2 als die in der Einheit der Menge des Gemisches vorhandenen beiderseitigen Mengen, d. h. $p_1 + p_2 = 1$, so kommt

$$\varkappa = p_1 \varkappa_1 + (1 - p_1) \varkappa_2 .$$

Man mag z. B. lauter einprocentige Lösungen hierbei nehmen; es genügt aber auch, wenn man beliebige, aber gleiche Gewichte der drei Stoffe in einem beliebigen Fläschchen zu gleichen Volumen auflöst.

Hat man in einem solchen Falle also die Leitvermögen $\varkappa_1$ und $\varkappa_2$ der reinen Körper und das jedenfalls zwischen diesen beiden Gröfsen liegende Leitvermögen $\varkappa$ eines unbekannten Gemisches bestimmt, so kann man die verhältnismäfsige Zusammensetzung des Gemisches berechnen. Machen wir zur Vereinfachung die Annahme, $\varkappa_2$ sei gröfser als $\varkappa_1$, so finden wir

$$p_1 = \frac{\varkappa_2 - \varkappa}{\varkappa_2 - \varkappa_1} \quad \text{oder} \quad p_2 = \frac{\varkappa - \varkappa_1}{\varkappa_2 - \varkappa_1} \quad \text{oder} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{\varkappa_2 - \varkappa}{\varkappa - \varkappa_1} .$$

Man sieht, dafs nur Verhältnisse von Leitvermögen vorkommen, also ist die Einheit gleichgiltig, die man zu Grunde legt. Man kann irgend einen Drahtwiderstand, den man Eins nennt, und irgend ein Widerstandsgefäfs dazu anwenden. Der Drahtwiderstand, sei an das Null-Ende A, und das Gefäfs, mit einer Lösung gefüllt, an das Ende B d. h. den Teilstrich 1000 der Brücke geschaltet (umgekehrt, wie bei einer Widerstandsbestimmung zu geschehen pflegt) und nun auf das Tonminimum eingestellt. Die bezüglichen Drahtabschnitte der Brücke heifsen a und b oder $1000 - a$, dann ist das Leitvermögen der Lösung proportional a/b und darf im vorliegenden Falle einfach gleich a/b angenommen werden, d. h. gleich der Zahl, die man in der Brücken-Tabelle (Obach) zu a findet oder auch an einem schon mit einer Teilung a/b versehenen Drahte (S. 41) abgelesen hat.

An die Temperatur wird blofs die Anforderung gestellt, dafs sie bei den drei Bestimmungen gleich sei.

Man kann aber auch diese Forderung beseitigen, dadurch dafs man als Vergleichswiderstand nicht einen Draht sondern ein zweites Gefäfs nimmt, welches bei allen drei Versuchen mit einer konstanten Lösung gefüllt ist, etwa mit der obigen Lösung des Elektrolytes I. Diesen Vergleichswiderstand und die mit

Digitized by Google

ihm zu vergleichende Lösung stellt man dann in das nämliche Bad.

Die Bestimmung wird um so genauer ausfallen, je mehr die Leitvermögen $\varkappa_1$ und $\varkappa_2$ sich unterscheiden, was im Allgemeinen damit zusammentrifft, dafs die Körper grofse Unterschiede des Molekulargewichts haben. Bei gleichprocentigen Lösungen des Chlorids, Bromids und Jodids desselben Alkalimetalles sind diese Unterschiede ziemlich grofs. Ebenso z. B. bei den Chloriden von Li, Na, K, Rb der Alkalimetalle, bei NaCl und KCl am geringsten. Die Verunreinigung eines Kaliumhaltigen Chlorrubidium-Präparates läfst sich leicht quantitativ bestimmen.

Beispiel: Gemisch aus Jodkalium und Chlorkalium. Die Einstellungen a an der Brücke und das daraus gefundene Verhältnis $\varkappa = a/(1000 - a)$ betrugen:

bei KJ	KCl	dem unbekannten Gemisch
$a_1 = 470{,}9$	$a_2 = 651{,}0$	$a = 496{,}1$
$\varkappa_1 = 0{,}8900$	$\varkappa_2 = 1{,}8653$	$\varkappa = 0{,}9845$.

Die in der Menge Eins des Gemisches vorhandene Menge von Chlorkalium ist

$$p_2 = \frac{\varkappa - \varkappa_1}{\varkappa_2 - \varkappa_1} = \frac{0{,}9845 - 0{,}8900}{1{,}8653 - 0{,}8900} = \frac{0{,}0945}{0{,}9753} = 0{,}0969$$

oder 9,69 % KCl.

Vergl. über diese Bestimmungsweise H. Erdmann 1897.

27. Analyse verdünnter Lösungen.

Hier ist das el. Leitvermögen ein sehr wertvolles, teilweise ein unersetzliches Hilfsmittel. Wenn es sich etwa um wenige Milligramme im Liter handelt, so bieten die chemischen Methoden, selbst wenn sie nur ein Eindampfen verlangen, grofse Schwierigkeit. Durch das Filtriren allein können Fehler von dem Betrage der ganzen zu bestimmenden Gröfse hereinkommen.

Das Leitvermögen auch einer verdünnten Lösung aber ist mit einer Genauigkeit zu ermitteln, welche die Koncentration auf $^1/_{1000}$ ihres Betrages erkennen läfst, selbst wenn dieselbe vielleicht nur $^1/_{10}$ Procent beträgt, d. h. 1 gr im Liter. Lösungen von 0,1 gr/liter können aus ihrem Leitvermögen bis auf Bruch-

Digitized by Google

teile des mg/liter erkannt werden. Dabei ist es nicht notwendig, ein ganzes Liter zu haben, sondern 100 ccm, selbst 20 ccm (in denen bei dem letzten Beispiele überhaupt nur 2 mg vorhanden sein würden) genügen zu derselben relativen Genauigkeit.

Zwei Dinge aber werden für diesen Erfolg vorausgesetzt. Erstens dafs das Wasser, in welchem der Körper gelöst ist, genügend rein sei. Im anderen Falle ist das gefundene Leitvermögen durch die Verunreinigungen entstellt. Zweitens mufs bekannt sein, wie das Leitvermögen von dem Gehalte an dem zu untersuchenden Körper abhängt.

Alkalische oder saure Lösungen verlangen grofse Vorsicht (S. 92).

I. Berechnung der Koncentration einer verdünnten Lösung aus ihrem Leitvermögen.

Das Leitvermögen sei für die Temperatur, die den Tabellen zu Grunde liegt, $= K$ gefunden. Über eine etwa notwendige Reduktion der Beobachtung auf diese Temperatur vgl. § 25. Von K wird das Leitvermögen des lösenden Wassers abgezogen; der Rest sei $= \varkappa$.

Ist der Elektrolyt bereits beobachtet, so benutzt man die betr. Tabelle (2 bis 5); andernfalls stellt man eine solche aus den Beweglichkeiten der beiden Jonen, wenn diese in Tab. 8a u. 8b vorkommen, durch Addition her. Es genügt dabei ein Teil der Tabelle, welcher die in Betracht kommende Koncentration enthält. Zum Interpoliren kann es aber zweckmäfsig sein, nicht die Zahlen der Tabelle sondern eine Aufzeichnung derselben in Gestalt einer Kurve zu benutzen. Vgl. § 21.

Die Tabelle — sie heifse Tab. A — enthält nun zu den Koncentrationen η nicht die Leitvermögen $\varkappa$ selbst, sondern die Äquivalent-Leitvermögen $\Lambda = \varkappa/\eta$. Daraus stellt man sich eine Tab. B für die Leitvermögen selbst her, indem die Λ mit η multiplicirt werden; aus dieser entnimmt man zu dem beobachteten $\varkappa$ einen Näherungswert η_0 der Koncentration, der nicht genau ausfallen wird, weil das Interpoliren aus Tab. B nicht genau ist.

Nun aber ändert sich Λ in Tab. A nur langsam mit η, also kann man zu η_0 voraussichtlich das unserer Lösung richtig

Digitized by Google

zugehörende Λ aus Tab. A entnehmen und hieraus das richtige $\eta = \frac{\varkappa}{\Lambda}$ berechnen. Ist die Abweichung zwischen η_0 und η so erheblich, dafs aus Tab. A zu η sich ein merklich anderer Wert ergibt, als er zu η_0 gefunden war, so nimmt man dieses Λ, um den Schlufswert zu berechnen. Dieser ist jetzt unter allen Umständen richtig. Einige Beispiele dazu siehe in § 28 II unter Löslichkeitsbestimmung.

II. Durchschnittsrechnung für den Gehalt verdünnter Salz-Lösungen.

Es kommt vor, dafs man den Gehalt einer verdünnten Lösung schätzen möchte, ohne die Körper, die gelöst sind zu kennen; als das ganz gewöhnliche Beispiel kann der Gehalt eines Quellwassers oder dgl. an unorganischen Stoffen genannt werden. Bei der chemischen Untersuchung pflegt man in einem solchen Falle einzudampfen und den Rückstand zu bestimmen. Allein wenn flüchtige Substanzen vorhanden waren, so bestimmt man diese dann nicht mit; wenn man mit Wasser, welches nur Kohlensäure enthält, so verfahren wollte, so bliebe natürlich nichts im Tiegel. Auch sonst kann man auf diesem Wege oft nichts genaues erfahren, denn ein ungeglühter Rückstand umfafst auch die organischen Teile und beim Glühen andrerseits werden die im Wasser gelösten Körper, z. B. die Karbonate grofsenteils verändert.

Aus dem elektrischen Leitvermögen kann man natürlich, ohne die Bestandteile zu kennen, auch nichts genaues schliefsen, seine Bestimmung ist aber sehr viel einfacher, da sie für diese Zwecke in einer halben Minute geschehen kann. Führt man aufser dem Eindampfen eine Leitungsbestimmung aus, so kann man aus beiden Resultaten zusammen viel mehr schliefsen, als etwa aus dem Eindampfen allein.

Die Regel, nach welcher aus dem Leitvermögen einer verdünnten Lösung eine genäherte Durchschnitts-Vorstellung über die Menge der gelösten Stoffe gewonnen wird, wenn dies Salze sind, ist zufällig sehr einfach. Das Leitvermögen $\varkappa$ bei Zimmertemperatur gibt, mit 10000 multiplicirt, ungefähr die im Liter gelöste Anzahl von Milligrammäquivalenten. Denn die Äquivalent-Leitvermögen Λ der verschiedenen Salze im verdünnten Zustande ($^1/_{100}$ normal) liegen um die Zahl 100 herum, d. h. wenn das Leitvermögen $= \varkappa$ ist, so stellt, da $\eta = \varkappa/\Lambda$ ist, $\varkappa/100$ ungefähr die im Kubikcentimeter enthaltene Zahl von Gramm-Äquivalenten vor; die 10^6fache Zahl, d. h. $10000 \cdot \varkappa$ gibt also ungefähr die Milligramm-Äquivalente im Liter.

Auch über die Gröfsenordnung der Masse der gelösten Stoffe hat man sofort eine Vorstellung, wenn nur die gewöhnlichen Verunreinigungen durch Chloride, Sulfate, Karbonate der unedelen Metalle in Frage kommen,

Digitized by Google

denn das Äquivalentgewicht dieser Salze ist selten kleiner als 60 oder gröfser als 90. Nimmt man also 75 als Mittelwert, so würde $750000 \cdot \varkappa$ (oder $0{,}75 \cdot \varkappa \cdot 10^6$) die in 1 Liter enthaltenen Milligramme geben. Dafs man durch eine der einfachsten Messungen, nämlich des Leitvermögens, einen Überschlag über die Menge der „Verunreinigungen des Wassers" erhalten kann, wird nicht hinreichend beachtet und die Aussprüche, dafs man dem Leitvermögen des „Wassers zu chemischen Zwecken" eine gröfsere Aufmerksamkeit schenken solle, sind also ganz gerechtfertigt (vgl. z. B. v. Waltenhofen 1885; Reichert 1889).

28. Löslichkeit schwer löslicher Körper in Wasser.

Vgl. Kohlr. u. Rose 1893; Holleman 1893.

Die Grundlagen hierzu sind in § 17 und 27 enthalten, über die Ausführung der Bestimmungen sind aber noch einige Regeln zu geben.

I. Ausführung der Beobachtung.

In eine gute (§ 22, IV) Glasflasche gieſst man nach sorgfältiger Reinigung, deren Erfolg daran ersehen wird, dafs eine Wasserfüllung ihr Leitvermögen nicht mit der Zeit vermehrt, Wasser (§ 22, I). Die zu lösende Substanz, im Achatmörser aufs feinste gepulvert, so dafs sie grofsenteils nur langsam im Wasser sinkt, wird in das Wasser gebracht und nun zunächst durch Auswaschen mit Wasser gereinigt, indem man absitzen läfst und die Flüssigkeit abgieſst oder besser durch einen kleinen „Giftheber" ablaufen läfst. Nachdem man dies hinreichend oft ausgeführt zu haben glaubt, gibt man einen neuen Wasser-Aufgufs, schüttelt auf, läfst die grobkörnigeren Teile je nach Umständen einige Sekunden bis einige Minuten absinken und füllt mit der trüben Flüssigkeit ein Widerstandsgefäfs mit Elektroden (Fig. 2 oder 13, S. 14 oder 18). Die Trübung beeinflufst, wenn sie nicht übermäfsig stark ist, den Widerstand kaum. Der Widerstand wird jedesmal nach Aufschütteln, welchem zu Liebe

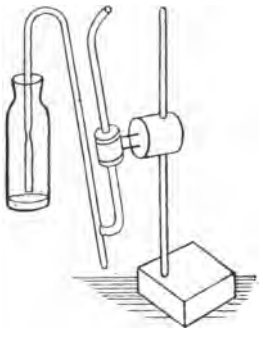

Fig. 64.

Digitized by Google

eine Luftblase über der Flüssigkeit gelassen worden sei, wiederholt gemessen, bis er sich nicht mehr durch Auflösen ändert. Jetzt läfst man das Gefäfs ruhig stehen und die Substanz absitzen, was durch Konstanthalten der Temperatur, bei sehr schwer absitzenden Pulvern am wirksamsten in der Nähe von 4°, sehr erleichtert wird. Nach dem Absitzen wird die Flüssigkeit abgehebert. Indem man dem Saugheber eine enge Ausflufsöffnung gegeben hat, läfst die erforderliche Langsamkeit des Abfliefsens, damit das Pulver nicht schliefslich mitgerissen wird, sich leicht erzielen. Manche Pulver backen übrigens so fest zusammen, dafs man sogar abgiefsen kann. Nun wird wieder Wasser aufgegossen, auf die gewünschte Lösungstemperatur gebracht und unter Schütteln der meist rasch konstant werdende Widerstand gemessen. Dies setzt man fort, bis wiederholte Aufgüsse zu demselben Widerstande führen.

Wenn der Widerstand sich nicht einer konstanten Grenze nähert sondern z. B. Stunden und Tage lang immer weiter abnimmt, so kann dies auf eine Zersetzung der Substanz deuten oder auch darauf, dafs der feste Körper etwa nicht den bei der betreffenden Temperatur stabilen Krystallwassergehalt hatte, wodurch die Löslichkeit beeinflufst wird.

Reinigung der Gefäfse. Die anhaftenden Reste einer schwerlöslichen Substanz lassen sich meist nicht mit Wasser beseitigen. Dagegen pflegt eine starke Säure sie abzulösen, so dafs sie dann mit Wasser heraus gespült werden können. Nach dem Behandeln mit Säure mufs aber meistens wieder geraume Zeit nachgewässert werden. Vgl. § 5.

Nicht neutral reagirende Körper lassen sich nach S. 92 in sehr grofser Verdünnung so nicht gut auf ihre Löslichkeit untersuchen.

II. Berechnung der gelösten Menge.

Die Regeln hierfür sind § 27 gegeben und sollen hier nur an einigen Beispielen erläutert werden.

1. Beispiel: Chlorsilber. Es wurde in einem Wasser vom Leitvermögen $1{,}16 \cdot 10^{-6}$ das Leitvermögen der gesättigten Lösung $K = 2{,}40 \cdot 10^{-6}$ gefunden, beides bei 18°; also ist $\varkappa = 2{,}40 - 1{,}16 = 1{,}24 \cdot 10^{-6}$ das Leitvermögen des Chlorsilbers allein.

Digitized by Google

Aus Tab. 8a findet sich (vgl. S. 101 u. 130)

$1000\,\eta$	l_{Ag}	l_{Cl}	Tab. A $\Lambda = l_{Ag} + l_{Cl}$	Tab. B $\varkappa = \Lambda\eta$
0	55,7	66,1	121,8	0
0,0001	55,4	65,3	120,7	$12{,}07 \cdot 10^{-6}$
0,0002	55,1	65,1	120,2	$24{,}04 \cdot 10^{-6}$

Als Näherungswert wird zu $\varkappa = 1{,}24 \cdot 10^{-6}$ aus Tab. B berechnet $1000\,\eta = 0{,}0001 \cdot \frac{1{,}24}{12{,}07} = 0{,}00001027$. Zur genaueren Berechnung schliefsen wir aus Tab. A, dafs zu diesem Gehalt $\Lambda = 121{,}6$ zu setzen ist, also $\eta = \frac{\varkappa}{\Lambda} = \frac{1{,}24 \cdot 10^{-6}}{121{,}6} = 0{,}01020 \cdot 10^{-6}$, d. h. die Lösung hat die Konzentration $0{,}01020 \cdot 10^{-6}$ gr-Äqu./ccm = 0,00001020 mg-Äqu./ccm oder $1000\,\eta$ = 0,0102 mg-Äqu./Liter.

Um auch die Masse des gelösten Chlorsilbers zu erhalten, multipliciren wir diesen Wert mit dem Äquivalentgewicht AgCl = 143,4 und erhalten $0{,}01020 \cdot 143{,}4 = 1{,}46$ mg/Liter.

2. Beispiel: Bariumoxalat. Die Beobachtungstemperaturen waren hier nicht genau 18°. Das Wasser hatte $1{,}28 \cdot 10^{-6}$ bei 19,5°, die gesättigte Lösung $K = 67{,}7 \cdot 10^{-6}$ bei 16,3°. Ebenfalls bei 16,3°, also um 3,2° tiefer hätte das Wasser gehabt $1{,}28 \cdot 10^{-6}(1 - 0{,}02 \cdot 3{,}2^{0}) = 1{,}20$. Dies ist von K abzuziehen und gibt $\varkappa_{16,3} = \mathbf{66{,}5 \cdot 10^{-6}}$.

Die Tabellen müssen ebenfalls auf 16,3° umgerechnet werden. Der Temperaturkoefficient für verdünntes BaC_2O_4 wird nahe 0,024 betragen, so dafs $\Lambda_{16,3} = \Lambda_{18}(1 - 0{,}024 \cdot 1{,}7) = \Lambda_{18}(1 - 0{,}041)$ ist.

Die Tabellen stellen sich aus Tab. 8b zusammen:

	für 18°			Tab. A für 16,3°	Tab. B für 16,3°
$1000\,\eta$	l für $\frac{1}{2}$Ba	l' für $\frac{1}{2}C_2O_4$	$\Lambda = l + l'$	Λ	$\varkappa = \Lambda \cdot \eta$
0,0002	52	60	112	107	$21 \cdot 10^{-6}$
0,0005	50	58	108	104	$52 \cdot 10^{-6}$
0,0010	47	56	103	99	$99 \cdot 10^{-6}$

Als Näherung linear interpolirt findet sich aus Tab. B

zu $\varkappa = 66{,}5 \cdot 10^{-6}$ $\quad 1000\,\eta = 0{,}0005 + 0{,}0005 \cdot \frac{14{,}5}{47} = 0{,}00065$.

Für die genauere Rechnung entnehmen wir zu diesem Wert aus Tab. A $\Lambda = 102$, so dafs man endlich bekommt

$$\eta = \frac{\varkappa}{\Lambda} = \frac{66{,}5 \cdot 10^{-6}}{102} = 0{,}652 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{gr-Äqu.}}{\text{ccm}} = 0{,}000652\,\frac{\text{mg-Äqu.}}{\text{ccm}}$$

und $1000\,\eta = 0{,}652\,\frac{\text{mg-Äqu.}}{\text{Liter}}$. Multiplikation mit dem Äquivalentgewicht $\frac{1}{2}(BaC_2O_4) = 112{,}5$ ergibt für die bei 16,3° gesättigte Lösung $0{,}652 \cdot 112{,}5$ = 73,3 mg/Liter.

Digitized by Google

Ob man sich nicht in der Stellung des Komma versehen hat erkennt man bei einer sehr verdünnten Salzlösung daran, dafs die Anzahl mg/Liter von derselben Ordnung sein müssen, wie die Zahl, die mit 10^{-6} multiplicirt das Leitvermögen $\varkappa$ gab.

III. Löslichkeit in höherer Temperatur.

Die Ausführung der Beobachtung wird hier weniger leicht und auch bei der Ausrechnung mufs man sich, weil die Grundlagen dafür grofsenteils nicht genau bekannt sind, mit einer geringeren Sicherheit begnügen. Man kennt nämlich den Temperatureinflufs auf das Leitvermögen meistens nicht genau. In dem zweiten Beispiele, wo ein Leitvermögen von $66 \cdot 10^{-6}$ vorkam, kann man sich, durch sorgfältigen Ausschlufs fester Teilchen mittels Abgiefsens oder auch Filtrirens einer nicht zu kleinen Flüssigkeitsmenge durch ein vorher gut ausgewaschenes kleines Filter, eine ungesättigte Lösung verschaffen und deren Temperaturkoefficienten nach § 24 bestimmen. Aber mit einer so verdünnten Lösung wie die des Chlorsilbers würde das grofse Schwierigkeiten bieten. Da mufs man also den Temperaturgang aus analogen Flüssigkeiten schliefsen, hier z. B. aus dem Silbernitrat, wo er 0,022 beträgt.

Ferner aber ist bei dem Erwärmen unter der Mitwirkung der Zeitdauer nicht zu vermeiden, dafs das Leitvermögen auch durch Glaslösung u. dgl. wächst. Um dies zu eliminiren bleibt nichts übrig, als nach jeder Bestimmung in der Wärme auf die Ausgangstemperatur zurückzugehen und den Zuwachs, den man alsdann gegen den ersten Sättigungszustand findet, dem Ausgangswerte des Wassers hinzuzufügen. Ein Beispiel wird dies deutlich machen. Vgl. Kohlr. u. Rose l. c.

Die Lösung von Beispiel 1 mit dem Chlorsilber, die bei 18° das Leitvermögen $K_{18} = 2{,}40 \cdot 10^{-6}$ gezeigt hatte, wurde durch Eintauchen in warmes Wasser auf 33,6° erwärmt und nun etwa 10 min lang geschüttelt, indem die Temperatur durch die Hand auf dieser Höhe erhalten wurde. Das jetzt merklich stationär gewordene Leitvermögen betrug

$$K_{33,6} = 5{,}18 \cdot 10^{-6}$$

Nun wurde das Fläschchen in eisgekühltem Wasser sehr rasch auf 18° gebracht, bei dieser Temperatur einige Minuten geschüttelt, damit sicher kein Übersättigungszustand vorhanden war (der aber bei Chlorsilber überhaupt nicht zu fürchten ist) und das Leitvermögen $K_{18} = 2{,}76 \cdot 10^{-6}$ gefunden, d. h. um $0{,}36 \cdot 10^{-6}$ höher als nach der ersten

Digitized by Google

Sättigung. Das lösende „Wasser" setzen wir also jetzt mit dem Leitvermögen $(1{,}16 + 0{,}36) \cdot 10^{-6} = 1{,}52 \cdot 10^{-6}$ bei 18°, also bei 33,6° mit $1{,}52 \cdot 10^{-6}(1 + 15{,}6 \cdot 0{,}02) = 1{,}99 \cdot 10^{-6}$ ein und erhalten

$$\varkappa_{33,6} = (5{,}18 - 1{,}99) \cdot 10^{-6} = 3{,}19 \cdot 10^{-6}.$$

Unsere früheren „Tabellen A u. B" für 18° rechnen wir mit dem Temperaturkoefficienten 0,022 (vgl. oben), d. h. durch Multiplikation der Λ_{18} bez. $\varkappa_{18}$ mit $1 + 0{,}022 \cdot 15{,}6 = 1{,}343$ auf 33,6° um. Das gibt

$1000\,\eta$	Tab. A $\Lambda_{33,6°}$	Tab. B $\varkappa_{33,6°} = \Lambda \cdot \eta$
0	163,6	0
0,0001	162,1	$16{,}2 \cdot 10^{-6}$

Ebenso wie S. 134 entnehmen wir aus Tab. B zu $\varkappa = 3{,}19$ den Näherungswert $1000\,\eta = 0{,}0001 \cdot \frac{3{,}19}{16{,}2} = 0{,}000020$, schliefsen aus Tab. A, dafs hierzu ein Äquivalentleitvermögen $\Lambda = 163{,}4$ gehört und berechnen genauer $\eta = \frac{\varkappa}{\Lambda} = \frac{3{,}19 \cdot 10^{-6}}{163{,}4} = 0{,}0195 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{gr-Äqu.}}{\text{ccm}}$ oder $1000\,\eta =$ 0,0195 mg-Äqu./Liter. Die Gewichtskoncentration ergibt sich wieder durch Multiplikation mit dem Äquivalentgewicht AgCl = 143,4 und beträgt also $0{,}0195 \cdot 143{,}4 = 2{,}80$ mg/Liter. Die Löslichkeit des Chlorsilbers ist also von 18° bis 33,6° fast aufs Doppelte gestiegen.

Digitized by Google

Literatur.

Pogg. od. Wied.: Annalen der Physik u. Chemie herausgeg. von Poggendorff oder Wiedemann.
Ph. Ch.: Zeitschrift für physikalische Chemie, von Ostwald u. van't Hoff.
Ch. Ber.: Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft.
C. R.: Comptes rendus der Pariser Akademie.

Ein * bedeutet, dafs die Abhandlung Beobachtungen von Leitvermögen nach einer definirten Einheit enthält.

Andrews u. Ende. Ph. Ch. **17**, 141. 1895. LiCl in Amylalkohol.

Archibald. Transact. Canada 1897 III, Mischung NaCl u. K_2SO_4.

Arrhenius. (1) Bihang Schwed. Akad. 8 Nr. 13 u. Nr. 14. 1884. Theorie und Versuche.

— (2) Öfversicht Schwed. Akad. **42**, Nr. 6, 121. 1885. Fluidität.

— (3) Wied. **30**, 51. 1887. Säure-Mischungen. Isohydrische Lösungen.

— (4) Ph. Ch. **1**, 631. 1887. Dissociation.

— (5) ib. **2**, 284. 1888. Theorie.

— (6) ib. **4**, 96. 1889; **8**, 419. 1891; **9**, 339. 1892. Temperatur, Dissociationswärme.

— (7) ib. **5**, 1. 1890. Gleichgewicht zwischen Elektrolyten.

— (8) ib. **9**, 487. 1892. Zusatz von Nichtleitern.

— (9) ib. **10**, 51. 1892. Diffusion.

— (10) Öfversicht Schwed. Akad. 1893, 95. Alkalisalze.

— (11) Ph. Ch. **11**, 391. 1893. Dissociation u. Löslichkeit.

Bader. Ph. Ch. **6**, 289. 1890. Phenole, Cyanamide, Karbonsäuren.*

Barmwater. Dissert. Kopenh. 1898. Osmot. Druck u. Leitvermögen, Theorie.

Barth. Ph. Ch. **9**, 176. 1892. Sulfite.*

Bartoli. (1) Cim. (*3*) **16**, 64; **19**, 43; **20**, 121. 1884—86. Org. Verbindungen.

Bartoli. (2) ib. (*3*) **28**, 25. 1890. Öle und Fette.

— (3) Rend. Ist. Lomb. (*2*) **27**, 1. 1894. Ester.

— (4) ib. (*2*) **28**, 1895. Leitvermögen und kritische Temperatur.

Baur. (1) Ph. Ch. **18**, 183. 1895. Tetrazol-Verb. Rb- u. Cs-Salze.*

— (2) ib. **23**, 409. 1897. Temperatur u. Leitvermögen von Stickstoffsäuren.

Beckmann. Forsch.-Ber. über Lebensmittel 1895, 367. Analyse mittels Leitvermögens.

Beetz. Pogg. **117**, 1. 1862. $ZnSO_4$.

Bein. Wied. **46**, 29. 1892. Überführungszahlen.

Bellati. Atti Ist. Veneto (*6*) **1**, 563. 1883. Galvanometer mit schief gestellter Nadel.

Bender. Wied. **22**, 179. 1884 u. **31**, 872. 1887. Salzgemische.

Berggren. ib. **1**, 499. 1877. Paalzow'sche Methode.

D. Berthelot. (1) Ann. chim. phys. (*6*) **23**, 1. 1891. Org. Säuren u. Salze.

— (2) ib. (*6*) **28**, 5. 1893. Phosphorsäure.

Bethmann. Ph. Ch. **5**, 385. 1890. Benzoësäuren u. zweibas. org. Säuren.*

Bleekrode. Wied. **3**, 161. 1878. Wasserfreie Säuren.

Bock. ib. **30**, 631. 1887. Schwefelalkalien; Borsäure.*

Boltwood. Ph. Ch. **22**, 132. 1897. RbCl u. CsCl.*

Bosi. Cim. (*4*) **5**, 249. 1897. Bewegte Lösungen.

Digitized by Google

Bouty. (1) C. R. **98**, 140, 362, 797, 908; **99**, 30; J. de phys. (*2*) **3**, 325. 1884. Verdünnte Lösungen.
— (2) ib. **102**, 1097. 1886. KCl-Lösungen.
— (3) ib. **102**, 1372. 1886 u. J. de phys. (*2*) **6**, 5. 1887. Lösungen mittlerer Koncentration.
— (4) ib. **103**, 39. 1886. Salzgemische.
— (5) ib. **104**, 1611 u. 1699. 1887. Verdünnte Lösungen und Gemische.
— (6) ib. **106**, 595 u. 654. 1888. Lösungen in HNO_3.
— (7) Ann. chim. phys. (*6*) **14**, 36 u. 74. 1888. Zusammenstellung.
Bredig. (1) Ph. Ch. **12**, 230. 1893. $K_2S_2O_8$.*
— (2) Diss. Leipzig u. Ph. Ch. **13**, 191. 1894. Chlorhydride org. Basen, Natriumsalze etc.;* Zusammenstellung von Jonenbeweglichkeiten.
— (3) ib. **13**, 289. 1894. Org. Basen.*
British Assoc. Rep. 1885, 723; 1886, 308; 1887, 336; 1888, 339; 1889, 223 u. 1890, 138. Berichte des Elektrolysis-Committee.
Budde. Pogg. **156**, 618. 1875. Jonen-Bewegung.
Campetti. Atti di Torino **32**, 735. 1897. Überführzahlen.
Cardy. Jour. phys. Chem. **1**, 707. 1897. Salze in flüss. Ammoniak.*
Carrara. (1) Gaz. chim. ital. **26**, 119. 1896. Lösungen in Methylalkohol.*
— (2) ib. **27**, 422 1897. Reiner Methylalkohol.*
— *u. Rossi.* Atti Linc. (*5*) **6**, 208. 1897. Basen.
Cattaneo. (1) Atti Torino **28**, 329. 1892 u. Rend. Lincei (*5*) **2** I, 295. 1893. Neg. Temp.-Koeff. bei ätherischen Lösungen.
— (2) Rend. Lincei (*5*) **2** II, 112. 1893. Lösungen in Wasser, Alkohol, Glycerin u. Äther.
— (3) ib. (*5*) **5** II, 207. 1896 u. **6** I, 279. 1897. Überführungszahlen in versch. Lösungsmitteln.
Chaperon. (1) C. R. **108**, 799. 1889. Wicklung.
— (2) J. de phys. (*2*) **9**, 481. 1890. Meßanordnung.
Chrustschow. C. R. **108**, 1003 u. 1161. 1889. Salzgemische.
Clausius. Pogg. **101**, 338. 1857. Theorie.
Cohen. Ph. Ch. **25**, 1. 1898. Lösungen in Alkohol-Wassergemischen.*
Cohn. Wied. **21**, 646. 1884. Sehr schnelle Schwingungen. Ohm'sches Gesetz.
Comey. Diction of Solubilities. Lond. 1896. Viele Löslichkeiten u. spec. Gewichte.
Crompton. J. Chem. Soc. **53**, 116. 1888. Hydrate.
Crum Brown u. Walker. Lieb. Ann. **261**, 107. 1891. Org. Säuren.*
Déguisne. (1) Wied. **52**, 604. 1894. Leitvermögen bei 4°.
— (2) Diss. Straßburg 1895. Temperatur u. Leitvermögen.
Dorn u. Völlmer. Wied. **60**, 468. 1897. HCl bei — 80°.
Dutoit u. Aston. C. R. **125**, 240. 1897. Verschied. Lösungsmittel.
Ebersbach. Ph. Ch. **11**, 608. 1893. Aromat. Amidosulfonsäuren.*
Elsas. (1) Wied. **35**, 828. 1888 u. **42**, 165, 1891. Differentialinduktor.
— (2) ib. **44**, 666. 1891. Hörtelephon.
Erdmann. Chem. Ber. **30**, 1175. 1897. Quantitative Analyse.
Erskine. Wied. **62**, 454. 1897. Leitfähigkeit bei sehr schnellen Schwingungen (10^8).
Euler. (1) Ph. Ch. **21**, 257. 1896. Temperaturkoeff. org. Säuren.
— (2) Wied. **63**, 273 u. Ph. Ch. **25**, 536. 1898. Diffusion und Molekulargewicht.
Ewan. Jour. Chem. Soc. **69**, 96. 1893. Formanilid u. Thioformanilid.
Fanjung. Ph. Ch. **14**, 673. 1894. Druck u. Leitvermögen.
Federico. Lovori istituto Pisa **2**, 139. 1897. Differentialtelephon.
Fink. Wied. **26**, 481. 1885. Druck u. Leitvermögen.
Fitzpatrik. Phil. Mag. (*5*) **24**, 377. 1887. Alkoholische Lösungen.
Förster. ZS. anal. Ch. **33**, 299. 323. 381. 1893. Glaslösung.
Forch. Wied. **55**, 100. 1895. Ausdehnung von Salzlösungen.
Foster. Wied. **26**, 239. 1885. Brücken-Kaliber.
Foussereau. (1) C. R. **99**, 80. 1884. Wasser u. Eis.
— (2) J. de phys. (*2*) **4**, 450. 1885. Alkohol.
E. Franke. Ph. Ch. **16**, 463. 1895. Thalliumsalze etc., Fettsäuren.*

Digitized by Google

R. Franke. Elt. ZS. **18**, 607 u. 619. 1897. Empfindlichkeit des Telephons.
Freund. Wied. **7**, 44. 1879. Paalzowsche Methode.
Frölich. Elt. ZS. **1**, 197. 1880. Dynamometer.
Fuchs. Pogg. **156**, 162. 1875. Elektrometrische Methode.
Gerlach. (1) Salzlösungen, Freiberg 1859. Spec. Gew. v. Salzlösungen.
— (2) ZS. f. anal. Ch. **8**, 279. 1869. Desgl.
Giltay. Wied. **25**, 325. 1885. Galv. mit schiefgestellter Nadel.
Gin u. Leleux. C. R. **120**, 917. 1895. Zuckerhaltige Lösungen.
Gordon. Ph. Ch. **23**, 469. 1897. Überführungszahlen v. Cadmiumsalzen.
Gore. Phil. Trans. **159**, 173. 1869. Wasserfreie Säuren.
Grotrian. (1) Pogg. **151**, 378. 1874. Temperatur u. Leitvermögen.
— (2) ib. **157**, 130. 1876; **160**, 238. 1877; Wied. **8**, 529. 1879. Fluidität und Leitvermögen.
— (3) Wied. **18**, 177. 1883. Cd- und Hg-Salze.*
Guinchant. Thèses fac. d. sc. Paris 1897 u. Ph. Ch. **24**, 174. 1897. Natriumsalze der Methinsäure.*
Guthe u. Bangs. Phys. Rev. **3**, 141. 1895. H_2SO_4.
Haagn. Ph. Ch. **23**, 97. 1897; Widerstand v. Elementen.
Hampe. Chem. Zt. **11** u. **12**. 1887—88. Haloidverbindungen.
Hantsch u. Miolati. Ph. Ch. **10**, 1. 1892. Ammoniak-Verbindungen.*
Hartwig. (1) Progr. der Realschule Nürnberg 1886. Phenol und Oxalsäure.*
— (2) Diss. Leipzig, 1887 u. Wied. **33**, 58. 1888 u. **43**, 839. 1891. Wässrige u. alkoholische Lösungen von Fettsäuren.*
Heerwagen. ZS. f. Instr. **10**, 170. 1889. Brücken-Kaliber.
Heim. Wied. **27**, 643. 1883. Übersättigte Lösungen.
Hittorf. (1) Pogg. **89**, 177. 1853. Überführungszahlen.
— (2) ib. **98**, 1. 1856. desgl.
— (3) ib. **103**, 1. 1858. desgl.
— (4) ib. **106**, 338 u. 513. 1859. desgl. Abgedruckt auch in Ostwald's Sammlung der Klassiker Leipz. 1891.
— (5) Wied. **4**, 412. 1878. Kritik.
van't Hoff. (1) Arch. Neerl. **20**, 1885; Ph. Ch. **1**, 481. 1887. Dissociation.
— (2) Ph. Ch. **18**, 301. 1895. Formel für Leitvermögen und Verdünnung.
van't Hoff u. Reicher. Ph. Ch. **2**, 777. 1888. ib. **3**, 198. 1889. Osm. Druck, Gefrierp. Ern. u. Leitvermögen.
Holland. (1) Wied. **50**, 261. 1893. Lösungen in Methylalkohol.
— (2) ib. **50**, 349. 1893. $CuCl_2$.*
Holleman. Maandblad v. Natuurwet. 1893. Nr. 4. Ph Ch. **12**, 125. 1893. Löslichkeit.
Hopfgartner. Ph. Ch. **25**, 115. 1898. Überführungszahlen in Lösungsgemischen.
Hulett. Ph. Ch. **21**, 297. 1896. Dest. Wasser.
G. Jäger. (1) Wien. Ber. **96** (2), 317. 1887. Messungen mit dem Differentialgalv.
— (2) ib. **96** (2), 614. 1887. Berechnung der Molekulargröfse.
— (3) ib. **96** (2), 1329. 1887. Molekulare Leitf. von Salzlösungen.
Jahn. Ph. Ch. **16**, 72. 1895. Temperatur u. Leitvermögen der Fettsäuren.
Jones u. Allen. Amer. Chem. Jour. **18**, Nr. 4. 1896. Yttriumsulfat.*
— *u. Mackay.* Am. Chem. Jour. **19**, 83. 1897. Alaune.
Isaachsen. Ph. Ch. **8**, 145. 1891. $CuCl_2$.
Kablukoff. ib. **4**, 429. 1889. HCl in Benzol etc. und alkoholische Lösungen.
Kellner. Wied. **57**, 79. 1896. Absorption durch Platinschwarz.
Kirchhoff. Pogg. **100**, 177. 1857. Drahtbrücke.
Kirmis. Wied. **4**, 503. 1878. Überführungszahlen.
Kistiakowsky. Ph. Ch. **6**, 97. 1890. Leitvermögen und Überführungszahlen von Doppelsalzen.*
Klaassen. Proc. Phil. Soc. Cambridge **7**, 137. 1891. H_2SO_4.
Klein. Wied. **27**, 151. 1886. Sulfate u. Doppelsalze.*
Knox. ib. **54**, 44. 1895. CO_2-Lösungen.*
Köthner. Diss. Halle u. ZS. f. angew. Chem. **13**, 408. 1896. Chem. Analyse mittels Leitvermögens.
F. Kohlrausch. (1) Pogg. **142**, 1. 1871. Methode.
— (2) ib. **148**, 143. 1873. Polarisation u. Selbstinduktion.

Digitized by Google

F. Kohlrausch. (2a) ib. Jubelbd. 290. 1874. Sinusinduktor.
— (3) ib. **159**, 233. 1876. Säuren.*
— (4) Gött. Nachr. 1876, 213. Unabhäng. Wanderung.
— (5) ib. 1877, 181. Salze. Äquiv.-Leitvermögen.
— (6) Pogg. Ergbd. 8, 1. 1878. Wasser.
— (7) Gött. Nachr. 1879, 1. Mechan. u. elektrolyt. Reibung.
— (8) Wied. **6**, 1 u. 145. 1879. Salze.*
— (9) ib. **11**, 653. 1880. Telephon u. Brücke. ib. **15**, 556. 1882. Dynamometer.
— (10) ZS. d. El. Vereins in Wien 1883, Dec. Kleine Meſsbrücke.
— (11) Wied. **24**, 48. 1885. Wasser im Vakuum.
— (12) ib. **26**, 161. 1885. Verdünnte Lösungen.*
— (13) Elt. Z. u. Berlin 1887. Theorie d. Elektrolyse.
— (14) Wied. **44**, 577. 1891; Ch. Ber. 1891, 3560; ib. 1893, 2998. Glaslösung. Wasser.
— (15) ib. **47**, 756. 1892; Ph. Ch. **12**, 773. 1893. Natriumsilikat.*
— (16) ib. **49**, 225. 1893. Kritik der Wechselströme.
— (17) ib. **50**, 385. 1893. Jonen-Geschwindigkeit.
— (18) Ph. Ch. **15**, 126. 1894. Kritik von Methoden.
— (19) Wied. **51**, 346. 1894. Tauchelektroden.
— (20) ib. **56**, 177. 1895. Brücke.
— (21) ib. **58**, 514. 1896. Polarisation.
— (22) ib. **60**, 315. 1897. Kleine Elektroden.
— (23) ib. **62**, 209. 1897. Koncentrationsverschiebungen in Gemischen.
— (24) ib. **66**, 1898. Jonen-Beweglichkeiten.
— (25) Leitf. d. prakt. Phys. 1896.
— *u. Grotrian.* Gött. N. 1874, 405; Pogg. **154**, 1 u. 215. 1875. Chloride.*
— *u. Hallwachs.* ib. **50**, 125. 1893. Kontraktion u. Leitvermögen.
— *u. Heydweiller.* (1) ib. **53**, 209. 1894. Wasser.
— — (2) ib. **54**, 385. 1895. Inkonstanz des Leitvermögens.
— *Holborn u. Diesselhorst.* ib. **64**, 417. 1898. Grundlagen zur Bestimmung von Leitvermögen.
— *u. Nippoldt.* Gött. N. 1868, 415; 1869, 1; Pogg. **138**, 280 u. 370. 1869. Wechselströme, Ohm'sches Gesetz.
F. Kohlrausch u. Rose. Berl. Sitz. 1893, 453. Wied. **50**, 127; Ph. Ch. **12**, 234. 1893. Löslichkeit.*
W. Kohlrausch. Wied. **17**, 69. 1882. H_2SO_4.
Konowalow. Wied. **49**, 731. 1893. Amine in Säuren.
Korthright. Amer. Chem. Jour. **18**, 365. 1896. Org. Säuren.
Krannhals. Ph. Ch. **5**, 250. 1890. Temp. u. Leitvermögen.
Kramers. Dissert. Leiden 1897. KNO_3, hohe Temp.*
Kümmell. Wied. **64**, 655. 1898. Überführzahlen in Zn- und Cd-Salzen.
Kuschel. Wied. **13**, 289. 1881. Überführungszahlen von Karbonaten, Ätzalkalien u. Li-Salzen.
van Laar. Ph. Ch. **25**, 79. 1898. Lösungen, Theorie.
Landolt u. Börnstein. Phys.-chem. Tabellen, Berlin 1894.
v. Lasczynski. ZS. f. Elektrochem. **2**, 56. 1895. Salze in Aceton.
— *u. v. Gorski.* ib. **4**, 290. 1897. Salze in Pyridin.
Lehmann Wied **52**, 455. 1894. Inkonstanz des Leitvermögens.
Lenard. ib. **39**, 619. 1890. Telephon.
Lenz. (1) Pogg. **160**, 425. 1877 und Bull. Ac. Petersburg **10**, 1876. Haloidverbindungen.
— (2) Mém. de Petersb. **26**, Nr. 3. 1878. Verbindungen von K, Na, Am und H.
— (3) ib. **30**, Nr. 9. 1882. Alkoh. Lösungen.
Less. Wied. **15**, 80. 1882. Widerst. v. Elementen.
Lippmann. C. R. **83**, 192. 1876. Elektrometr. Methode.
Lodge. Brit. Ass. Rep. 1886, 389. Jonengeschwindigkeit.
Löb u. Nernst. Ph. Ch. **2**, 948. 1888. Silbersalze.*
Lohnstein. Wied. **51**, 219. 1894. Wechselströme.
Long. Wied. **11**, 37. 1880. Chloride u. Nitrate.*
Loomis. ib. **60**, 547. 1897. Normallösungen.*
Lorenz. ib. **7**, 174. 1879. Wechselströme.
Lovèn. (1) Ph. Ch **13**, 550. 1894. S-haltige Substitutionsderivate der Essigsäure u. Propionsäure.*

Digitized by Google

Lovèn. (2) ib. **17**, 374. 1895. Übermangansäure.*
Lüdeking. Wied. **37**, 172. 1889. Gelatinehaltige $ZnSO_4$-Lösung.
Lummer u. Kurlbaum. Verh. d. phys. Ges. 1895. Platinirung.
Lussana. (1) Atti Ist. Veneto (7) **4**, 1466. 1893. Widerstandsänderung bei 4°.
— (2) Cim. (4) **5**, 357 u. 441. 1897. Leitfähigkeit u. Druck.
Mac Gregor. (1) Trans. Canada 1882, III u. 1890, III. Methode.
— (2) ib. (2) **2**, 65 und Phil. Mag. (5) **41**, 276. 1896. Leitvermögen von Gemischen.
— (3) Phil. Mag. (5) **43**, 46 u. 55. 1897. Jonisation u. sonstige physik. Eigensch.
Mac Gregory. Diss. Straſsb. u. Wied. **51**, 126. 1894. Verdünnte Lösungen.* Destill. Wasser.
Magnanini. (1) Ph Ch. **6**, 59. 1890. Borsäurelösung mit Mannit.
— (2) Atti Ac. Catania **5**; Ph. Ch. **11**, 281. 1893. Borsäure und wäss. Lös. org. Säuren.
Malmström. Ph. Ch. **22**, 331. 1897. Gleichstrom-Methode.
Maltby. Ph. Ch. **18**, 133. 1895. Nernst'sche Methode.
Mc Intosh. Phil. Mag. **41**, 510. 1896. Gemische.
Melde. Wied. **24**, 461. 1884. Stromunterbrecher.
Monti. Atti Ist. Veneto (7) **3**, 1705 u. Atti Torino **28**, 252. 1892/93. Glycerinhaltige wässr. Lösungen.
Mylius u. Förster. ZS. f. Instr. 1889, 50 u. 117; 1891, 311; Chem. Ber. 1889, 1092; ZS. anal. Ch. **31**, 241. 1892. Glaslösung.
Nernst. (1) Ph. Ch. **2**, 613. 1888. Theorie, Diffusion.
— (2) ib. **4**, 372 1889. Theorie, Löslichkeit.
— (3) ib. **4**, 129. 1889. Theorie, el. mot. Kraft.
— (4) ib. **8**, 120. 1891. Wasser.
— (5) ib. **14**, 622. 1894. Dielektricitätskonstante, Leitvermögen.
— (6) Wied. **60**, 600. 1895. Sehr schnelle Schwingungen.
— (7) Theor. Chemie, Stuttg. 1893.
— *u. Haagn.* ZS. f. Elektrochem. 1896, 493. Widerstand galvanischer Elemente.
Nernst u. Loeb. Ph. Ch. **2**, 948. Silbersalze.*
Niementowski u. Roszkowski. Ph. Ch. **22**, 147. 1897. Nitrite.*
Niemöller. Wied. **8**, 656. 1879. Telephon.
Novak. Phil. Mag. **44**, 9. 1897. Ameisensäure.*
Noyes. Ph. Ch. **6**, 247. 1890. $TlNO_3$.*
— *u. Abbot.* ib. **16**, 125. 1895. Thalliumsalze.*
Obach. Tabellen. München 1879.
Oberbeck. (1) Wied. **17**, 816 u. 1040. 1882. Wechselstrom mit Selbstinduktion und Kapacität.
— (2) ib. **19**, 213. 1883. Sinusinduktor.
— (3) ib. **19**, 625. 1883 u. **21**, 139. 1884. Polarisation.
Ostwald. (1) Journ. prakt. Ch. **30**, 93 u. 225. 1884; **31**, 307. 1885. Säuren, Leitvermögen u. Reaktionsgeschwind.
— (2) ib. **31**, 219. 1885. Wechselstrommethode.
— (3) ib. **31**, 433. 1885. Säuren.
— (4) ib. **32**, 300. 1885. Säuren.*
— (5) ib. **33**, 352. 1886; **35**, 112. 1887. Basen.*
— (6) Ph. Ch. **1**, 74. 1887. Alkalisalze.*
— (7) ib. **2**, 36. 1888. Verdünnungsgesetz.
— (8) ib. **2**, 78. 1888. Chromsäure.
— (9) ib. **2**, 270. 1888. Dissociationstheorie.
— (10) ib. **2**, 561. 1888. Apparate.
— (11) ib. **2**, 840. 1888. Zusammensetzung und Beweglichkeit der Jonen.*
— (11a) ib. **2**, 901. 1888. Natriumsalze mehrbasischer Säuren.*
— (12) ib. **3**, 170, 241 u. 369. 1889. Org. Säuren.*
— (13) ib. **3**, 588. 1889. Dissociationstheorie.
— (14) Wied. **40**, 735. 1890. Wasser.
— (15) Leipz. Sitz.-Ber. 1893, 54. Thermochemie der Jonen.
— (16) Allg. Chemie, Leipz. 1893.*
— (17) Grundrifs d. allg. Ch. Leipz. 1896.
— (18) Physiko-chemische Messungen. Leipz. 1893.
— *u. Nernst.* Ph. Ch. **3**, 120. Freie Jonen.
Otten. Diss. München 1887. Fettsäuren.*

Digitized by Google

Paalzow. Pogg. **136**, 489. 1869. Methode.
Petersen. (1) Ph. Ch. **10**, 580. 1892. Metall-Ammoniakverb.*
— (2) ib. **22**, 410. 1897. Kobalt-Ammoniakverbind.*
Pfeiffer. (1) Wied. **28**, 625. 1884. CO_2-Lösungen.
— (2) ib. **25**, 232. 1885. Wasser u. Alkohol.
— (3) ib. **26**, 31; 226. 1885. Alkohol u. Äther.
— (4) ib. **31**, 831. 1887. Wasser.
— (5) ib. **37**, 539. 1889. Veränderlichkeit von Lösungen.
— (6) ib. **44**, 239. 1891. Glaslösung.
Piesch. Wien. Ber. **108**, IIa, 784. 1894. Leitfähigkeit und Druck.
Planck. (1) Wied. **32**, 462; Ph. Ch. **1**, 577. 1887. Dissociation.
— (2) Wied. **34**, 139. 1888. Theorie.
— (3) ib. **39**, 161. 1890. Diffusion.
Quincke. (1) Pogg. **113**, 513. 1861. Elektr. Fortführung.
— (2) ib. **144**, 1 u. 161. 1871. Theorie.
Rasehorn. Diss. Halle 1889. Elektrometr. Methode.
Rayleigh. (1) Proc. R. S. London **49**, 203. 1891. Brückenschaltung bei Wechselstrom.
— (2) Phil. Mag. **38**, 285. 1895. Empfindlichkeit des Hörtelephons.
Reichert. ZS. anal. Ch. **28**, 1. 1889. Chem. Analyse durch Leitfähigkeit.
Rivals. C. R. **125**, 574. 1897. Trichloressigsäure.
Rubens. Wied. **56**, 27. 1895. Vibrationsgalvanometer.
Rudolphi. (1) Ph. Ch. **17**, 277. 1895. Temperatur u. Leitvermögen.*
— (2) ib. **17**, 385. 1895. Formel für Leitvermögen und Verdünnung.
Rüping. Diss. Erlangen 1897. KCl in wässr. Alkohol.
Sack. Wied. **43**, 212. 1891. Temperatur und $CuSO_4$-Lösung.
Sakurai. Jour. Coll. Sc. Japan **9**, II, 259. 1897. Amidosulfonsäure.*
Saposchnikoff. J. russ. phys.-chem. Ges. **25** II, 626. 1893. Ameisensäure.*
Schall. Ph. Ch. **14**, 701. 1894 u. **19**, 699. 1896. Wässr. Lösungen mit Alkohol.
Schaller. ib. **25**, 497. 1898. Leitfähigkeit bei hoher Temperatur.*
Schmidt. Pogg. **107**, 553. 1859. Methode.
Shaw. Proc. Cambridge Phil. Soc. **7**, 21. 1890. Zähigkeit u. Leitfähigkeit.
Sheldon. Wied. **34**, 122. 1888. Methode.
Smith. Ph. Ch. **25**, 193. 1898. Org. Säuren.*
Stephan. Wied. **17**, 673. 1882. Fluidität u. Leitvermögen.
Strindberg. Ph. Ch. **14**, 161. 1894. Wässr. Lösungen mit Nichtleitern.
Strouhal u. Barus. Wied. **10**, 326. 1880. Draht-Kalibrirung.
Sulzberger. Diss. Zürich 1889. Widerstandsmessung mit Kondensator.
Swarts. Ph. Ch. **16**, 118. 1895. Kurven.
Szyszkowski. Ph. Ch. **22**, 173. 1897. Oxysäuren etc.*
Tammann. (1) Ph. Ch. **6**, 121. 1890. Metaphosphate.*
— (2) ib. **17**, 725. 1895. Leitfähigkeit u. Druck.
v. Tietzen-Hennig. Wied. **35**, 467. 1888. Gelatinehaltige Lösungen.
Tollinger. Wied. **1**, 510. 1877. Gleichstrom-Methode.
J. Traube. (1) Ch. Ber. 1892, 2989. Dissociation u. Jonisation.
— (2) ZS. f. unorg. Chem. **8**, 323. 1895. Osmot. Druck u. Jonisation.
— (3) Wied. **62**, 490. 1897. Osmot. Druck u. Dissociation.
Trötsch. ib. **41**, 259. 1890. Krystallwasser.
Trübsbach. Ph. Ch. **16**, 708. 1895. Ureide u. Isonitrosoderivate.*
Varley. Phil. Mag. (*4*) **41**, 310. 1871. Polarisation.
Veley u. Manley. Proc. R. Soc. **62**, 223. 1898. HNO_3.
van der Ven. Arch. Teyler (*2*) **4**, 2. 1894. Methode.
Vicentini. (1) Atti Ist. Veneto (*6*) **2**, 28, 1699. 1884. Wässr. Lösungen.*
— (2) Atti di Torino **20**, 869. 1885. Desgl.*
— (3) Mem. Torino (*2*) **36**, 1885. Alkoh. Lösungen.
Völlmer. Wied. **52**, 328. 1894. Lösungen in Äthyl- und Methylalkohol.*
Wakemann. (1) Ph. Ch. **11**, 49. 1893. Wässrig-alkoh. Lösungen.
— (2) ib. **15**, 159. 1894. Zusätze zu Essigsäure.
Walden. (1) Ph. Ch. **1**, 529. 1887. Magnesiumsalze etc.*
— (2) ib. **2**, 49. 1888. Anorg. Salze.*
— (3) ib. **8**, 433. 1891. Natriumsalze; Dikarbonsäuren.*

Digitized by Google

Walden. (4) ib. **10**, 563 u. 638. 1892. Trikarbon- u. Monokarbonsäuren.*
Walker. Ph. Ch. **4**, 333. 1889. Org. Basen.*
— *u. Hambly.* Jour. chem. Soc. **71**, 61. 1897. Diäthylammoniumchlorid in wässr. Alkohol.
v. Waltenhofen. Wien. Ber. **92** II, 1258. 1885. Mineralwasser.
Warburg. (1) Wied. **21**, 634. 1884. Glas.
— (2) ib. **54**, 396. 1895. Einfluſs konstanter Ströme.
— *u. Jhmori.* ib. **27**, 491. 1886. Glas.
R. Weber. ZS. angew. Ch. 1891. Glaslösung.
Werner u. Miolati. Ph. Ch. **12**, 35. 1893 u. **14**, 506. 1894. Metall-Ammoniakverbindungen.*
Wershoven. ib. **5**, 481. 1890. Cadmiumsalze.*
Whetham. (1) Phil Trans. **184**, 337. 1894; Proc. R. Soc. **58**, 182. 1895; Ph. Ch. **11**, 220. 1893. Jonengeschwindigkeit.
— (2) Phil. Mag. **44**, 1. 1897. Jonisirende Kraft von Essig-, Trichloressig- u. Ameisensäure.
E. Wiedemann. Wied. **20**, 537. 1883. Reibung u. Leitvermögen.
G. Wiedemann. (1) Pogg. **87**, 321. 1852. $CuSO_4$.
— (2) ib. **99**, 177. 1856. Überführung, Zähigkeit u. Leitfähigkeit.
M. Wien. (1) Wied. **42**, 593. 1891. Opt. Telephon. Korrektionen wegen Selbstind. u. Polarisation.
— (2) ib. **44**, 681. 1891. Opt. Telephon.
— (3) ib. **44**, 689. 1891. Induktionskonstanten.
— (4) ib. **47**, 626. 1892. Widerstandsmessung mit Telephon.
— (5) ib. **58**, 37 und **59**, 267. 1896. Polarisation.
Wietlisbach. Diss. Zürich 1879 u. Berl. Monatsber. 1879, 278. Telephon.
Wildermann. Ph. Ch. **14**, 231 u. 247. 1894. Alkoh. Lösungen.
Winkelmann. Wied. **46**, 466. 1892. Telephon.
Wood. Ph. Ch. **18**, 521. 1895. Leitfähigkeit bei 0°.
Zelinsky u. Krapiwin. Ph. Ch. **21**, 35. 1896. Lösungen in Methylalkohol.

Digitized by Google

Tabellen.

Bemerkungen zu Tab. 1 bis 5.

Die Leitvermögen sind alle vom Quecksilber auf $\text{Ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ umgerechnet; vgl. Kohlrausch, Holborn und Diesselhorst 1898.

Die Tabellen beziehen sich nur auf wässrige Lösungen.

Tab. 1, Leitvermögen koncentrirter Lösungen bei 18°.

P bedeutet Gewichtsprocente des wasserfreien Elektrolytes in 100 Teilen der Lösung, η die Anzahl gr-Äquivalente im ccm der Lösung; bei der Rechnung nach gr-Äqu. und Liter ist also $m = 1000\eta$ die Koncentration oder $v = 1/m$ die Verdünnung. Nur bei den sauren Salzen gelten gr-Moleküle.

Das specifische Gewicht s der Lösung bezieht sich stets auf Wasser von 4°.

$\varkappa_{18}$ ist das Leitvermögen in $1/(\text{Ohm} \cdot \text{cm})$ bei 18°.

Der Temperaturkoefficient (vgl. S. 118) gibt, in Bruchteilen von $\varkappa_{18}$, die Änderung von $\varkappa$ auf $+1°$ und zwar die mittlere Änderung zwischen 18° und 26°; nur bei Bock zwischen 10° und 26°.

Interpolirte Werte sind geklammert. Die mit * versehenen Leitvermögen bei Kohlrausch sind mit dem Dynamometer zwischen kleineren Elektroden beobachtet und beanspruchen geringere Genauigkeit.

Tab. 2, Äquivalent-Leitvermögen $\Lambda = \varkappa/\eta$ unorganischer Körper bei 18°. Von Vicentini sind wegen der Unsicherheit des Umrechnungsfaktors nur die sonst nicht untersuchten Körper aufgenommen.

Beobachtungen an verdünnten Lösungen mußten vielfach ausgeglichen werden. Oberhalb 1000η oder $m = 1$ sind die Λ aus Tab. 1 interpolirt. KJ ist hier nach neuen Beobachtungen von Day eingesetzt worden.

Tab. 3 gibt für 25° Äquivalent-Leitvermögen unorganischer Körper, außer den Silbersalzen von Löb und Nernst die Beobachtungen nach dem Ostwald'schen Schema von Barth (*Ba.* 1,066), Boltwood (*Bo.* 1,070), Bredig (*Br.* 1,07), E. Franke (*F.* 1,066), Niementowski und Roszkowski (*N. R.* 1,066), Ostwald (*O.* 1,066), Walden (*W.* 1,069). Die Zahlen bedeuten den bei der Umrechnung auf $\text{Ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ angewandten Faktor, welcher großenteils empirisch ermittelt werden mußte.

Tab. 3a. enthält molekulare Leitvermögen.

Tab. 4 enthält Äquivalentleitvermögen organischer Salze, zum größten Teile der Salze von Na, außerdem solcher von Mg (Walden) und der Chlorhydride organischer Basen (Bredig).

Tab. 5, **molekulares** Leitvermögen organischer Säuren, umfaßt das umfangreichste Material. Zugefügt ist die Konstante $K = 10^5 \cdot c$ (vgl. S. 97 u. 103), wie sie vom Beobachter berechnet worden ist. Eingeteilt ist hier nach den Beobachtern, deren Anordnung in den einzelnen Teilen belassen wird. Bei Ostwalds umfangreichen Ergebnissen sind die Verbindungen alphabetisch so geordnet, wie es der Verfasser am Schluß seiner Arbeit gethan hat.

Überall wo die Verdünnungen ($v = 10^s \varphi$) Potenzen von 2 bilden, sind sie am Kopfe der Tabelle zu finden. Ist die Verdünnung der Ausgangslösung aber eine beliebige Zahl, so ist diese in einer besonderen Spalte (v_1) aufgeführt, die Verdünnungen der folgenden Lösungen $2v_1$, $4v_1$ ... sind hieraus leicht zu berechnen.

Digitized by Google

1. Leitvermögen wässriger Lösungen. 18°.

(Vgl. auch Tab. 2 über Λ, ferner Tab. 7 über $\varkappa_0$ und Temperaturkoefficienten.)

(Kohlrausch u. Grotrian 1875) **1a. Salze.**

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{t/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 18$			
KCl	5	0,691	1,0308	690	99,9	0,0201
	10	1,427	1,0638	1359	95,2	188
	15	2,208	1,0978	2020	91,5	179
	20	3,039	1,1335	2677	88,9	168
	21	3,213	1,1408	2810	87,5	166
NH_4Cl	5	0,948	1,0142	918	96,8	0,0198
	10	1,923	1,0289	1776	92,4	186
	15	2,924	1,0430	2586	88,4	171
	20	3,952	1,0571	3365	85,0	161
	25	5,003	1,0710	4025	80,5	154
NaCl	5	0,884	1,0345	672	76,0	0,0217
	10	1,830	1,0707	1211	66,2	214
	15	2,843	1,1087	1642	57,8	212
	20	3,924	1,1477	1957	49,9	216
	25	5,085	1,1898	2135	42,0	227
	26	5,325	1,1982	2151	40,4	230
	26,4	5,421	1,2014	2156	39,8	233
LiCl	2,5	0,597	1,0132	410	68,7	0,0227
	5	1,209	1,0274	733	60,6	223
	10	2,487	1,0563	1218	49,0	218
*	20	5,249	1,115	1676	31,9	220
*	30	8,340	1,181	1399	16,78	228
*	40	11,820	1,255	844	7,14	284
$BaCl_2$	5	0,501	1,0445	389	77,7	0,0214
	10	1,050	1,0939	733	69,8	206
	15	1,652	1,1473	1051	63,6	200
	(20)	2,314	1,2047	1331	57,5	195
	24	2,894	1,2559	1534	53,0	192
$SrCl_2$	5	0,659	1,0443	483	73,3	0,0214
	10	1,379	1,0932	886	64,3	208
	15	2,168	1,1456	1231	56,8	—
	(20)	3,034	1,2023	1495	49,3	—
	22	3,403	1,2259	1583	46,5	—
$CaCl_2$	5	0,938	1,0409	643	68,6	0,0213
	10	1,957	1,0852	1141	58,3	206
	(15)	3,059	1,1311	1505	49,2	202
	20	4,253	1,1794	1728	40,6	200
	25	5,545	1,2305	1781	32,12	204
	30	6,945	1,2841	1658	23,87	216
	35	8,468	1,3420	1366	16,13	236
$MgCl_2$	5	1,094	1,0416	683	62,4	0,0222
	10	2,281	1,0859	1128	49,5	220
	20	4,942	1,1764	1402	28,37	237
	30	8,052	1,2779	1061	13,18	283
	34	9,434	1,3210	768	8,14	318

Digitized by Google

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{4/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{18}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 15$			
$MnCl_2$	5	0,831	1,0456	526	63,3	0,0210
(Long 1880)	10	1,731	1,0895	844	48,8	206
	15	2,712	1,1378	1055	38,9	202
	20	3,784	1,1900	1134	30,0	206
	25	4,954	1,2472	1090	22,00	203
	28	5,707	1,2828	1016	17,80	208
$ZnCl_2$	2,5	0,375	1,024	276	73,6	0,0213
	5	0,769	1,048	483	62,8	192
	10	1,606	1,094	727	45,3	165
	20	3,493	1,190	912	26,1	156
	30	5,720	1,299	926	16,19	172
	40	8,353	1,423	845	10,12	198
	(50)	11,52	1,570	630	5,47	232
	60	15,37	1,746	369	2,40	307
			$t = 18$			
$CdCl_2$	1	0,110	1,0063	55,1	50,1	0,0222
(Grotrian S. 1883)	5	0,571	1,0436	167	29,2	218
	10	1,194	1,0919	241	20,2	217
	15	1,877	1,1443	282	15,0	218
	20	2,626	1,2007	299	11,39	228
	(25)	3,450	1,2620	298	8,64	239
	30	4,365	1,3305	282	6,47	252
	(35)	5,384	1,4075	255	4,74	269
	40	6,508	1,4878	221	3,40	290
	(45)	7,763	1,5775	181	2,33	319
	50	9,185	1,6799	137	1,49	353
(Wershoven 1890)	0,0503	0,0055	—	4,95	90,0	0,0231
	0,0999	0,0109	—	8,97	82,3	226
	0,200	0,0219	1,0004	15,6	71,2	231
	0,399	0,0439	1,0022	26,6	60,6	227
	0,599	0,0660	1,0039	36,4	55,2	224
	0,769	0,0846	1,0057	44,8	52,9	224
	0,997	0,1098	1,0075	52,9	48,1	222
$HgCl_2$	0,229	0,0170	1,0008	0,44	2,59	0,044
(Grotrian S. 1883)	1,013	0,0754	1,0073	1,14	1,51	372
	5,08	0,392	1,0445	4,21	1,07	249
			$t = 15$			
KBr	5	0,435	1,0357	465	106,9	0,0206
(Kohlrausch S. 1879)	10	0,902	1,0741	928	102,9	194
	20	1,945	1,1583	1907	98,1	177
	30	3,162	1,2553	2923	92,4	164
	36	3,990	1,3198	3507	87,9	154
$HgBr_2$	0,223	0,0124	1,0007	0,16	1,29	0,038
(Grotrian S. 1883)	0,422	0,0236	1,0025	0,26	1,10	32

Digitized by Google

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{t/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 18$			
$CdBr_2$	1	0,074	1,0072	35,7	48,2	0,0232
(Grotrian 3. 1883)	5	0,384	1,0431	109	28,4	226
	10	0,802	1,0907	164	20,4	232
	(15)	1,261	1,1432	205	16,3	236
	20	1,764	1,1991	236	13,4	239
	(25)	2,318	1,2605	258	11,1	247
	30	2,934	1,3296	273	9,30	258
	(35)	3,617	1,4052	277	7,66	270
	(40)	4,388	1,4915	271	6,18	281
	43	4,892	1,5467	261	5,34	288
(Wershoven 1890)	0,0324	0,00239	—	2,31	96,7	0,0235
	0,0748	0,00552	—	4,70	85,1	237
	0,154	0,0113	—	8,44	74,7	239
	0,253	0,0187	1,0010	12,5	66,8	237
	0,506	0,0374	1,0031	21,3	57,0	238
	1,013	0,0751	1,0075	35,8	47,7	233
KJ	5	0,312	1,0363	338	108,3	0,0205
(Kohlr. 8. 1879)	10	0,648	1,0762	680	104,9	200
*	20	1,407	1,1679	1455	103,4	184
*	30	2,301	1,273	2303	100,1	166
*	40	3,366	1,3966	3168	94,1	151
*	(50)	4,654	1,545	3924	84,3	143
*	55	5,401	1,630	4226	78,2	140
NH_4J*	10	0,735	1,0652	772	105,1	0,0201
	20	1,573	1,1397	1599	101,7	192
	(30)	2,538	1,2260	2482	97,8	179
	(40)	3,660	1,3260	3393	92,7	166
	50	4,973	1,4415	4200	84,5	153
NaJ*	5	0,346	1,0374	298	86,1	0,0221
	10	0,721	1,0803	581	81,6	215
	20	1,566	1,1735	1144	73,1	203
	(30)	2,569	1,2836	1653	64,3	197
	40	3,778	1,4127	2111	55,9	197
LiJ*	5	0,387	1,0361	296	76,5	0,0218
	10	0,803	1,0756	573	71,4	215
	(15)	1,252	1,1180	838	66,9	211
	20	1,739	1,1643	1094	62,9	206
	25	2,266	1,2138	1346	59,4	202
CdJ_2	1	0,055	1,0071	21,2	38,5	0,0286
(Grotrian 3. 1883)	5	0,285	1,0425	60,9	21,4	260
	10	0,595	1,0883	103,9	17,5	248
	15	0,934	1,1392	146	15,6	241
	20	1,306	1,1943	186	14,2	240
	(25)	1,716	1,2550	222	12,9	241
	30	2,170	1,3228	254	11,7	244
	(35)	2,680	1,4000	282	10,5	248
	40	3,241	1,4816	303	9,35	253
	45	3,874	1,5741	314	8,11	259

Digitized by Google

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{t/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 18$			
CdJ_2	0,0429	0,00235	—	2,10	89,4	0,0257
(Wershoven 1890)	0,100	0,00550	—	4,12	74,9	261
	0,204	0,01120	1,0005	7,10	63,4	262
	0,399	0,02195	1,0021	11,5	52,4	264
	0,600	0,03302	1,0038	15,2	46,0	266
	0,800	0,04411	1,0056	18,3	41,5	270
	1,00	0,05522	1,0072	21,2	38,4	271
K_2CdJ_4	1		1,0065	41,1		0,0235
(Grotrian 8. 1888)	5		1,0384	157		227
	10		1,0808	296		224
	15		1,1269	432		218
	(20)		1,1770	578		215
	25		1,2313	730		214
	(30)		1,2890	896		211
	35		1,3557	1062		207
	(40)		1,4282	1235		203
	45		1,5065	1412		198
(Wershoven 1890)	0,0328		—	2,04		0,0226
	0,0596		—	3,57		231
	0,0804		—	4,65		228
	0,100		—	5,66		229
	0,250		1,0007	12,7		233
	0,500		1,0027	23,2		231
	1,003		1,0067	41,4		234
KFl*	5	0,894	1,041	652	72,9	0,0213
(Kohlrausch 8. 1879)	10	1,862	1,084	1209	64,9	216
	(20)	4,040	1,176	2080	51,5	218
	(30)	6,554	1,272	2561	39,1	227
	40	9,468	1,378	2522	26,6	25
			$t = 15$			
KCN	3,25	0,506	1,0154	527	104,2	0,0207
	6,5	1,029	1,0316	1026	99,7	193
			$t = 18$			
$AgNO_3$*	5	0,307	1,0422	256	83,4	0,0218
	10	0,641	1,0893	476	74,3	217
	(15)	1,006	1,1404	683	67,9	215
	20	1,407	1,1958	872	62,0	212
	(25)	1,847	1,2555	1058	57,3	210
	(30)	2,332	1,3213	1239	53,1	209
	(35)	2,872	1,3945	1406	49,0	207
	40	3,477	1,4773	1565	45,0	205
	(45)	4,158	1,5705	1716	41,3	204
	(50)	4,926	1,6745	1856	37,7	205
	(55)	5,791	1,7895	1984	34,3	206
	60	6,764	1,9158	2101	31,1	209

Digitized by Google

	P	1000η (m; $1/v$)	$s_{4/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Äqu./Liter	$t = 18$			
KNO_3 (Kohlr. 8. 1879)	5	0,509	1,0305	454	89,2	0,0208
	10	1,051	1,0632	839	79,8	205
	15	1,626	1,097	1186	72,9	202
	20	2,240	1,133	1505	67,2	197
	22	2,496	1,148	1625	65,1	194
			$t = 15$			
NH_4NO_3	5	0,637	1,0201	590	92,6	0,0203
	10	1,301	1,0419	1117	85,9	194
	(20)	2,711	1,0860	2060	76,0	179
	30	4,233	1,1304	2841	67,1	168
	(40)	5,882	1,1780	3373	57,3	160
	50	7,664	1,2279	3633	47,4	156
			$t = 18$			
$NaNO_3$	5	0,607	1,0327	436	71,8	0,0221
	10	1,255	1,0681	782	62,3	217
	20	2,688	1,1435	1303	48,5	215
	30	4,329	1,2278	1606	37,1	220
BaN_2O_6	4,2	0,332	1,0340	209	63,0	0,0235
	8,4	0,688	1,0712	352	51,2	245
CaN_2O_6	6,25	0,799	1,0487	491	61,5	0,0218
	12,5	1,678	1,1016	804	47,9	217
	25	3,716	1,2198	1048	28,2	218
	37,5	6,190	1,3546	876	14,15	253
	50	9,202	1,5102	469	5,10	335
MgN_2O_6	5	0,699	1,0378	438	62,7	0,0216
	10	1,451	1,0763	770	53,1	212
	(15)	2,260	1,1181	1021	45,2	208
	17	2,605	1,1372	1102	42,3	208
			$t = 15$			
CuN_2O_6 (Long 1880)	5	0,556	1,043	365	65,6	0,0221
	10	1,161	1,089	635	54,7	215
	15	1,820	1,139	858	47,1	206
	20	2,543	1,193	1018	40,0	205
	25	3,325	1,248	1089	32,8	216
	35	5,136	1,377	1062	20,7	237
SrN_2O_6	5	0,492	1,0418	309	62,8	0,0225
	10	1,026	1,0857	527	51,4	225
	15	1,604	1,1318	690	43,0	227
	20	2,233	1,1815	802	35,9	228
	25	2,920	1,2363	866	29,66	226
	35	4,478	1,3542	861	19,23	241
PbN_2O_6	5	0,316	1,0449	191	60,4	0,0238
	10	0,661	1,0937	322	48,7	251
	15	1,039	1,1467	429	41,4	251
	20	1,455	1,2043	521	35,8	250
	25	1,916	1,2678	600	31,3	252
	30	2,422	1,3358	668	27,6	257

Digitized by Google

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{4/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{18}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 18$			
CdN_2O_6	1	0,085	1,0069	69,4	81,6	0,0226
(Grotrian 3. 1883)	5	0,441	1,0415	289	65,5	221
	10	0,921	1,0869	513	55,7	215
	(15)	1,444	1,1360	688	47,6	213
	20	2,017	1,1903	827	41,0	212
	(25)	2,647	1,2500	919	34,7	213
	30	3,336	1,3125	956	28,7	214
	(35)	4,092	1,3802	948	23,17	220
	40	4,922	1,4590	903	18,35	228
	(45)	5,882	1,5430	822	13,98	242
	48	6,497	1,5978	755	11,62	252
(Wershoven 1890)	0,0492	0,00418	—	4,25	101,7	0,0234
	0,100	0,00849	—	8,17	96,2	233
	0,249	0,02123	1,0007	19,5	91,8	227
	0,464	0,03951	1,0025	35,0	88,6	230
	0,952	0,08146	1,0065	67,5	82,9	222
			$t = 15$			
$KClO_3$	5	0,421	1,0316	367	87,2	0,0211
(Kohlr. 8. 1879)						
$KC_2H_3O_2$	4,67	0,486	1,0228	347	71,4	0,0223
	9,33	0,995	1,0466	625	62,8	219
	(18,67)	2,064	1,0960	1046	50,7	222
	28	3,276	1,1484	1256	38,3	231
	(37,33)	4,575	1,2028	1262	27,6	250
	46,67	5,985	1,2590	1122	18,75	275
	(56)	7,503	1,3152	843	11,24	323
	65,33	9,128	1,3714	479	5,25	409
			$t = 18$			
$NaC_2H_3O_2$	5	0,624	1,025	295	47,3	0,0251
	(10)	1,281	1,051	481	37,5	259
	20	2,690	1,104	651	24,20	293
	(30)	4,237	1,159	600	14,16	350
	32	4,562	1,170	569	12,47	371
K_2SO_4	5	0,596	1,0395	458	76,8	0,0216
	10	1,240	1,0813	860	69,4	203
(Klein 1886)		0,5	1,0330	391	78,2	0,0219
		1	1,0662	718	71,8	207
Na_2SO_4	5	0,735	1,0450	409	55,6	0,0236
(Kohlr. 8. 1879)	10	1,536	1,0915	687	44,7	249
	15	2,411	1,1426	886	36,7	256
(Klein 1886)		0,5	1,0302	298	59,6	0,0241
		1	1,0602	508	50,8	242
		2	1,1179	800	40,0	250

Digitized by Google

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{t/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 15$			
$(NH_4)_2SO_4$	5	0,778	1,0292	552	71,0	0,0215
(Kohlr. 8. 1879)	10	1,601	1,0581	1010	63,1	203
	20	3,377	1,1160	1779	52,7	193
	30	5,322	1,1730	2292	43,1	191
	31	5,528	1,1787	2321	42,0	191
			$t = 18$			
(Klein 1886)		0,5	1,0184	378	75,6	0,0218
		1	1,0360	681	68,1	209
		1,5	1,0523	941	62,7	206
		2	1,0702	1201	60,0	202
		2,5	1,0856	1414	56,6	198
		3	1,1031	1630	54,3	195
			$t = 15$			
Li_2SO_4	5	0,947	1,0430	400	42,2	0,0236
(Kohlr. 8. 1879)	10	1,975	1,0877	610	30,9	239
$MgSO_4$	5	0,873	1,0510	263	30,1	0,0226
	10	1,836	1,1052	414	22,55	241
	15	2,891	1,1602	480	16,60	252
	(20)	4,054	1,2200	476	11,74	269
	25	5,342	1,2861	415	7,77	288
			$t = 18$			
(Klein 1886)		0,5	1,0285	176	35,2	0,0229
		1	1,0574	289	28,9	232
		1,5	1,0851	372	24,8	234
		2	1,1125	431	21,5	237
		2,5	1,1395	467	18,68	247
		3,423	1,187	493	14,40	—
		4,108	1,222	483	11,76	—
$ZnSO_4$	5	0,651	1,0509	191	29,3	0,0225
(Kohlr. 8. 1879)	10	1,371	1,1069	321	23,42	223
	15	2,169	1,1675	415	19,13	228
	(20)	3,053	1,2323	468	15,33	241
	25	4,040	1,3045	480	11,88	258
	(30)	5,124	1,3788	444	8,66	273
$CuSO_4$	2,5	0,321	1,0246	109	34,0	0,0213
	5	0,658	1,0531	189	28,7	216
	10	1,387	1,1073	320	23,1	218
	15	2,194	1,1675	421	19,19	231
	17,5	2,631	1,2003	458	17,41	236
$MnSO_4$		0,689	1,0456	190	27,6	0,0221
(Klein 1886)		1,476	1,0982	315	21,34	216
		2,034	1,1343	372	18,29	216
		3,231	1,2108	433	13,40	223
		4,257	1,2756	425	9,98	242
		5,321	1,3400	383	7,20	265
		6,639	1,4187	300	4,52	294

Digitized by Google

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	s_{4}	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 18$			
$CdSO_4$	1	0,097	1,0084	41,6	42,9	0,0210
(Grotrian 3. 1888)	5	0,504	1,0486	146	29,0	206
	10	1,060	1,1026	247	23,3	206
	(15)	1,674	1,1607	325	19,42	208
	(20)	2,354	1,2245	388	16,48	214
	25	3,112	1,2950	430	13,82	228
	(30)	3,958	1,3725	436	11,02	236
	(35)	4,902	1,4575	424	8,65	251
	36	5,102	1,4743	421	8,25	255
(Wershoven 1890)	0,0289	0,00278	—	2,47	88,8	0,0230
	0,0498	0,00482	—	3,90	80,9	230
	0,0999	0,00961	—	6,92	72,0	222
	0,495	0,0479	1,0034	23,93	49,9	211
	0,981	0,0954	1,0084	40,70	42,6	207
$FeSO_4$		0,5	1,0344	154	30,8	0,0218
(Klein 1886)		1	1,0692	258	25,8	218
		2	1,1375	390	19,5	228
		3	1,2018	461	15,37	231
		3,56	1,2359	470	13,21	243
$NiSO_4$		0,5	1,0379	153	30,6	0,0231
		1	1,0759	254	25,4	227
		2	1,1503	385	19,25	241
		3	1,2219	452	15,07	250
			$t = 15$			
K_2CO_3	5	0,756	1,0449	561	74,2	0,0221
(Kohlr. 3. 1879)	10	1,579	1,0919	1038	65,7	212
	20	3,448	1,1920	1806	52,4	210
	30	5,641	1,3002	2222	39,4	219
	40	8,198	1,4170	2168	26,45	246
	50	11,157	1,5428	1469	13,16	318
			$t = 18$			
Na_2CO_3	5	0,991	1,0511	451	45,5	0,0252
	10	2,082	1,1044	705	33,9	271
	15	3,277	1,1590	836	25,51	294
Li_2CO_3	0,20	0,0540	1,0006	34,3	63,5	0,0249
	0,63	0,1705	1,0050	88,5	51,9	0259
$K_2C_2O_4$	5	0,623	1,0367	488	78,3	0,0215
	10	1,293	1,0751	915	70,8	205
			$t = 15$			
$KAlS_2O_8$	5	—	1,0477	251	—	0,0202

Digitized by Google

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{t/4}$	$\varkappa_{18} \cdot 10^4$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Mol./Liter	$t = 18$		
$KHSO_4$	5	0,380	1,0354	821	0,0085
(Kohlr. 8. 1879)	10	0,787	1,0726	1528	086
	(15)	1,224	1,1116	2178	086
	20	1,691	1,1516	2769	088
	(25)	2,188	1,192	3256	091
	27	2,400	1,2110	3419	093
			$t = 15$		
$KHCO_3$	5	0,516	1,0328	371	0,0205
	10	1,066	1,0674	688	197
			$t = 18$		
KH_2PO_4	5	0,380	1,0341	238	0,0220
	10	0,785	1,0691	400	222
	15	1,222	1,1092	584	227

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{t/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{18}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 18$			
K_2S	3,18	0,605	1,0265	845	139,7	0,0193
(Bock 1887)[1])	4,98	0,941	1,0405	1284	136,5	191
	9,93	1,948	1,0829	2343	120,3	189
	15,06	3,081	1,1285	3334	108,2	189
	19,96	4,247	1,1738	4020	94,7	192
	24,64	5,444	1,2186	4401	80,8	201
	29,97	6,889	1,2672	4563	66,2	204
	38,08	9,319	1,3501	4106	44,1	236
	47,26	12,504	1,4596	2579	20,63	324
Na_2S	2,02	0,529	1,0212	612	115,7	0,0206
	5,03	1,359	1,0557	1321	97,2	213
	9,64	2,736	1,1102	2017	73,7	226
	14,02	4,163	1,1583	2359	56,7	247
	16,12	4,873	1,1810	2243	46,0	268
	18,15	5,647	1,2158	2184	38,7	295
		gr-Mol./L.				
KSH	4,09	0,579	1,0232	535		0,0219
	7,86	1,138	1,0456	1039		207
	15,08	2,274	1,0889	1928		191
	33,43	5,780	1,2124	3749		178
	39,22	6,748	1,2428	3982		178
	51,22	9,381	1,3226	4003		189

[1]) Hier finden sich noch verschiedene Mischungen von KOH und KSH.

Digitized by Google

1b. Säuren.

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{t/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 15$			
HCl	5	1,405	1,0242	3948	281,0	0,0158
(Kohlr. s. 1876)	10	2,877	1,0490	6302	219,1	156
	(15)	4,420	1,0744	7453	168,6	155
	20	6,034	1,1001	7615	126,2	154
	(25)	7,722	1,1262	7225	93,6	153
	30	9,482	1,1524	6620	69,8	152
	(35)	11,303	1,1775	5910	52,3	151
	40	13,182	1,2007	5152	39,1	—
HBr	5	0,637	1,0322	1908	299,5	0,0152
	10	1,318	1,0669	3549	269,3	152
	15	2,046	1,1042	4940	241,5	150
HJ	5	0,405	1,0370	1332	328,9	0,0157
			$t = 18$			
HNO_3	6,2	1,017	1,0346	3123	307,1	0,0147
(Kohlr. u. Grotrian 1875)	12,4	2,108	1,0717	5418	257,0	142
	(18,6)	3,276	1,1105	6901	210,7	137
	24,8	4,533	1,1525	7676	169,3	137
	31,0	5,873	1,1946	7819	133,1	139
	37,2	7,300	1,2372	7545	103,4	145
	(43,4)	8,801	1,2786	6998	79,5	151
	49,6	10,376	1,3190	6341	61,1	157
	(55,8)	12,000	1,3560	5652	47,1	157
	62,0	13,640	1,3871	4964	36,4	157
Ameisensäure	4,94	1,094	1,0143	55,0	5,03	
CH_2O_2	9,55	2,131	1,0248	75,6	3,55	
(Otten 1887)	20,34	4,650	1,0520	98,4	2,12	
	29,83	6,961	1,0739	103,8	1,491	
	39,95	9,528	1,0976	98,4	1,033	
	50,02	12,189	1,1214	86,4	0,709	
	59,96	14,90	1,1440	70,0	0,470	
	70,06	17,75	1,1663	52,3	0,294	
	89,02	23,28	1,2036	18,7	0,0803	
	98,53	26,14	1,2210	4,9	0,0187	
	100	26,59	1,2238	2,8	0,0105	
Essigsäure	4,33	0,725	1,0050	11,99	1,654	
$C_2H_4O_2$	9,79	1,652	1,0129	15,13	0,916	
	20,79	3,560	1,0281	16,19	0,495	
	30,46	5,277	1,0400	13,87	0,2628	
	37,80	6,599	1,0480	11,29	0,1711	
	49,37	8,706	1,0586	7,65	0,0879	
	58,32	10,34	1,0649	4,93	0,0477	
	67,50	12,04	1,0695	2,87	0,0238	
	90,87	16,15	1,0672	0,24	0,00149	
	95,92	16,96	1,0613	0,004	—	

Digitized by Google

	P	$\frac{(m;\ 1/v)}{1000\,\eta}$	$s_{t/4}$	$10^4\,\varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 18$			
Essigsäure	0,3	0,050	—	3,18	6,36	—
$C_2H_4O_2$	1	0,167	—	5,84	3,50	—
(Kohlr. S. 1876)	5	0,838	1,0058	12,25	1,464	0,0163
	10	1,688	1,0133	15,26	0,904	169
	(15)	2,547	1,0195	16,19	0,636	174
	20	3,417	1,0257	16,05	0,470	179
	(25)	4,300	1,0325	15,20	0,3535	182
	30	5,194	1,0393	14,01	0,2698	186
	(35)	6,089	1,0445	12,51	0,2055	191
	40	6,994	1,0496	10,81	0,1546	196
	(45)	7,908	1,0550	9,06	0,1146	194
	50	8,829	1,0600	7,40	0,0838	194
	(55)	9,739	1,0630	5,89	0,0619	200
	60	10,66	1,0655	4,56	0,0428	206
	(65)	11,56	1,0678	3,38	0,0292	209
	(70)	12,46	1,0685	2,35	0,0189	210
	75	13,36	1,0693	1,46	0,0109	210
	(80)	14,25	1,0690	0,81	0,0057	210
	99,7	17,41	1,0485	0,0004	$0{,}0_323$	—
Propionsäure	1,00	0,135	1,0017	4,79	3,549	
$C_3H_6O_2$	5,01	0,678	1,0055	9,25	1,364	
(Otten 1887)	10,08	1,375	1,0098	11,13	0,809	
	15,05	2,062	1,0144	10,99	0,533	
	20,02	2,752	1,0180	10,42	0,379	
	30,03	4,152	1,0239	8,18	0,1970	
	50,09	6,962	1,0293	3,77	0,0541	
	69,99	9,71	1,0276	0,85	0,0088	
	90,48	12,39	1,0141	0,02	0,0016	
	100	13,48	0,9980	0,0007	$0{,}0_352$	
Buttersäure	1,00	0,114	1,0012	4,55	3,99	
$C_4H_8O_2$	5,02	0,572	1,0036	8,63	1,51	
	10,07	1,150	1,0061	9,86	0,857	
	15,03	1,720	1,0075	9,55	0,555	
	20,01	2,290	1,0077	8,88	0,388	
	30,04	3,436	1,0072	6,94	0,202	
	50,04	5,70	1,0035	2,96	0,0519	
	70,01	7,92	0,9962	0,56	0,0071	
	89,97	10,02	0,9808	0,015	$0{,}0_315$	
	100	10,96	0,9649	0,0006	—	
Isobuttersäure $C_4H_8O_2$	100	—	0,9553	0,0005	—	
Valeriansäure $C_5H_{10}O_2$	100	—	0,9343	0,0004	—	
Kapronsäure $C_6H_{12}O_2$	100	—	0,9341	0,0004	—	

Digitized by Google

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{t/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 18$			
H_2SO_4	5	1,053	1,0331	2085	198,0	0,0121
(Kohlr. s. 1876)	10	2,176	1,0673	3915	179,9	128
	15	3,376	1,1036	5432	160,9	136
Äquiv. $= \frac{H_2SO_4}{2}$	20	4,655	1,1414	6527	140,2	145
	25	6,019	1,1807	7171	119,2	154
	30	7,468	1,2207	7388	98,9	162
	35	9,011	1,2625	7243	80,4	170
	40	10,649	1,3056	6800	63,8	178
	(45)	12,396	1,3508	6164	49,7	186
	50	14,258	1,3984	5405	37,9	193
	(55)	16,248	1,4487	4576	28,16	201
	60	18,375	1,5019	3726	20,27	213
	65	20,177	1,5577	2905	14,40	230
	70	23,047	1,6146	2157	9,36	256
	75	25,592	1,6734	1522	5,95	291
	78	27,18	—	1238	4,55	323
	80	28,25	1,7320	1105	3,91	349
	81	28,78	—	1055	3,67	359
	82	29,31	—	1015	3,46	365
	83	29,84	—	989	3,32	369
	84	30,37	—	979	3,225	369
	85	30,90	1,7827	980	3,172	365
	86	31,41	—	992	3,161	357
	87	31,90	—	1010	3,169	349
	88	32,39	—	1033	3,193	339
	89	32,87	—	1055	3,212	330
	90	33,34	1,8167	1075	3,224	320
	91	33,80	—	1093	3,236	308
	92	34,26	—	1102	3,220	295
	93	34,71	—	1096	3,160	285
	94	35,15	—	1071	3,049	280
	95	35,58	1,8368	1025	2,881	279
	96	35,99	—	944	2,624	280
	97	36,38	1,8390	800	2,199	286
	99,4	37,20	1,8354	85	0,228	400
(W. Kohlrausch 1882)	96,00		1,8372	938		0,025
	96,87		1,8385	845		28
	97,13		—	814		28
	98,42		1,8375	592		27
	99,08		1,8359	361		28
	99,44		1,8349	213		28
	99,58		—	158		29
	99,66		—	107		32
	99,74		—	85		37
	99,75		—	80		40
	99,78		—	88		36
	99,79		1,8381	117		31,
	99,98		1,8422	157		31
	100,14[1])		—	187		30

[1]) Der Überschufs über 100 mufs an Wasser zugefügt werden, um H_2SO_4 zu geben.

Digitized by Google

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{t/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$	
	%	gr-Äqu./L.	$t = 15$				
(W. Kohlrausch 1882)	100,21[1])		1,8469	199		0,030	
	100,51		—	227		32	
	101,12		1,8610	269		31	
	101,30		—	275		31	
	102,08		—	289		31	
	103,53		—	271		32	
	105,61		—	138		—	
	107,61		—	93		39	
	108,19		—	65		40	
	108,78		—	43		48	
	109,20		—	35		50	
	109,74		—	25		54	
	110,04		—	19		54	
	110,38		—	14		56	
	111,2		—	8		61	
Weinsäure	5	0,957	1,0216	59,9	62,6	0,0185	
$C_4H_6O_6$	10	1,393	1,0454	81,3	58,4	189	
(Kohlr. S. 1876)	(15)	2,138	1,0695	93,6	43,8	189	
	20	2,919	1,0950	99,5	34,1	186	
Äquiv. $= \frac{C_4H_6O_6}{2}$	(25)	3,736	1,1211	100,0	26,77	191	
	30	4,592	1,1484	96,4	20,99	199	
	(35)	5,488	1,1763	88,6	16,15	209	
	40	6,432	1,2064	78,5	12,21	222	
	(45)	7,414	1,2360	66,3	8,94	241	
	50	8,445	1,2672	53,2	6,30	264	
$H_2C_2O_4$	3,5	0,790	1,0156	508	64,3	0,0141	
	7,0	1,606	1,0326	783	48,8	143	
H_3PO_4	10	3,228	1,0548	566	17,54	0,0104	
	(15)	4,976	1,0841	850	17,08	109	
Äquiv. $= \frac{H_3PO_4}{3}$	20	6,824	1,1151	1129	16,56	114	
	(25)	8,776	1,1472	1402	15,98	121	
	30	10,840	1,1808	1654	15,26	130	
	35	13,023	1,2160	1858	14,27	140	
	(40)	15,337	1,2530	2010	13,11	150	
	(45)	17,792	1,2921	2087	11,73	161	
	50	20,39	1,3328	2073	10,17	174	
	(55)	23,15	1,3757	1978	8,54	189	
	(60)	26,09	1,4208	1833	7,03	207	
	(65)	29,19	1,4674	1650	5,65	229	
	70	32,46	1,5155	1436	4,42	252	
	(75)	35,94	1,5660	1209	3,36	279	
	80	39,64	1,6192	979	2,47	309	
	85	43,60	1,6763	780	1,749	350	
	87	45,26	1,7001	709	1,566	372	
			$t = 18$				
H_3BO_3	0,776	0,377	1,0029	0,022		0,0231	für 18°
(Bock 1887)	1,92	0,936	1,0073	0,11		143	
Äquiv. $= \frac{H_3BO_3}{3}$	2,88	1,409	1,0109	0,21		119	
	3,612	1,771	1,0131	0,31		075	

[1]) Wasser abgezogen.

Digitized by Google

(Kohlrausch 8. 1879.) **1c. Basen.**

	P	1000η $(m;\ 1/v)$	$s_{t/4}$	$10^4 \varkappa_{18}$	$\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$	$\frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$
	%	gr-Äqu./L.	$t = 15$			
KOH	4,2	0,777	1,0382	1464	188,4	0,0187
	8,4	1,612	1,0776	2723	168,9	186
	(12,6)	2,508	1,1177	3763	150,1	188
	16,8	3,467	1,1588	4558	131,5	193
	(21,0)	4,491	1,2008	5106	113,7	199
	25,2	5,583	1,2439	5403	96,8	209
	(29,4)	6,744	1,2880	5434	80,6	221
	33,6	7,978	1,3332	5221	65,4	236
	(37,8)	9,292	1,3803	4790	51,5	257
	42,0	10,695	1,4298	4212	39,4	283
NaOH	2,5	0,641	(1,0280)	1087	169,6	0,0194
	5	1,319	1,0568	1969	149,3	201
	10	2,779	1,1131	3124	112,4	217
	(15)	4,381	1,1700	3463	79,0	249
	20	6,122	1,2262	3270	53,4	299
	(25)	8,002	1,2823	2717	34,0	368
	30	10,015	1,3374	2022	20,18	450
	(35)	12,150	1,3907	1507	12,40	551
	40	14,400	1,4421	1164	8,08	648
	42	15,323	1,4615	1065	6,95	691
			$t = 18$			
LiOH*	1,25	0,527	(1,0132)	781	148,2	0,0191
	2,5	1,069	1,0276	1416	132,5	196
	5	2,194	1,0547	2396	109,2	203
	7,5	3,371	1,0804	2999	89,0	221
BaO_2H_2	1,25	0,148	(1,0120)	250	169,4	0,0187
	2,5	0,299	1,0253	479	160,2	185
			$t = 15$			
NH_3	0,10	0,059	(0,9987)	2,51	4,25	0,0246
	0,40	0,234	(0,9974)	4,92	2,103	—
	0,80	0,467	(0,9957)	6,57	1,408	231
	1,60	0,933	(0,9924)	8,67	0,929	238
	4,01	2,307	0,9818	10,95	0,475	250
	8,03	4,55	0,9656	10,38	0,228	262
	16,15	8,87	0,9365	6,32	0,0713	301
	30,5	16,01	(0,8955)	1,93	0,0121	—

Digitized by Google

2. Äquivalent-Leitvermögen $\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$ unorganischer Körper. 18°.

(Bis $1000\,\eta = 1$ nach Kohlrausch 12. 1885 u. (KNO_3) 17. 1893 mit dem Reduktionsfaktor 1,069 berechnet und auf die neuen Äquivalentgewichte (Tab. 15) reducirt. Ungleichheiten in den verdünntesten Lösungen sind ausgeglichen; geklammerte oder zu geklammerten η gehörende Werte sind graphisch interpolirt. Die Werte oberhalb $1000\,\eta = 1$ sind aus den Zahlen der Tab. 1 interpolirt und angeschlossen.) (Vgl. S. 101.)

$1000\,\eta$ (m)	$(1000\,\eta)^{\frac{1}{3}}$ $\left(m^{\frac{1}{3}}\right)$	KCl	NaCl	LiCl	NH_4Cl	KJ	KNO_3	$NaNO_3$	$AgNO_3$	$\frac{1}{1000}\varphi$ (v)
0,0001	0,0464	129,5	109,7	100,7	129,2	130,3	124,7	103,7	115,5	*10000*
0,0002	0,0585	129,1	109,2	100,2	128,8	130,0	(124,3)	103,3	115,2	*5000*
0,0005	0,0794	128,3	108,5	99,3	128,1	129,4	(123,6)	102,5	114,5	*2000*
0,001	0,100	127,6	107,8	98,5	127,3	128,8	122,9	101,8	114,0	*1000*
0,002	0,126	126,6	106,7	97,4	126,2	128,0	(122,0)	100,7	113,0	*500*
0,005	0,171	124,6	104,8	95,5	124,2	126,2	(120,1)	98,9	111,0	*200*
0,01	0,215	122,5	102,8	93,6	122,1	124,0	118,1	97,1	108,7	*100*
(0,02)	0,271	120,0	100,2	91,1	119,6	121,6	115,2	95,0	105,6	*(50)*
0,03	0,311	118,3	(98,3)	89,2	117,8	120,0	113,0	93,8	(103,3)	*33,3*
0,05	0,368	115,9	95,9	86,7	115,2	117,9	110,0	91,4	100,1	*20*
0;1	0,464	111,9	92,5	82,9	110,7	114,1	104,4	87,4	94,7	*10*
(0,2)	0,585	107,7	88,2	78,2	106,5	110,7	98,6	82,3	88,1	*5*
(0,3)	0,669	105,3	85,2	75,2	104,2	108,8	94,9	79,1	83,8	*3,33*
0,5	0,794	102,3	80,9	70,7	101,4	106,2	89,7	74,2	77,8	*2*
1	1,000	98,2	74,4	63,2	97,0	103,4	80,4	66,0	67,8	*1*
2	1,260	92,6	64,8	53,1	92,1	99,9	69,4	54,5	55,8	*0,5*
3	1,442	88,3	56,5	45,3	88,2	95,6	(61,3)	46,0	48,1	*0,33*
4	1,587	—	49,2	39,0	85,0	89,6	—	39,1	42,3	*0,25*
5	1,710	—	42,7	33,3	80,7	82,0	—	—	37,8	*0,2*
7	1,913	—	—	22,9	—	—	—	—	30,2	*0,14*
10	2,154	—	—	11,3	—	—	—	—	—	*0,1*

$1000\,\eta$ (m)	$KClO_3$	$KC_2H_3O_2$	$NaC_2H_3O_2$	$\frac{1}{2}K_2SO_4$	$\frac{1}{2}Na_2SO_4$	$\frac{1}{2}Li_2SO_4$	$\frac{1}{2}K_2CO_3$	$\frac{1}{2}NaCO_3$	$\frac{1}{1000}\varphi$ (v)
0,0001	120,2	100,0	(76,8)	133,5	110,5	100,9	—	—	*10000*
0,0002	119,6	99,6	76,4	132,7	109,6	100,1	—	—	*5000*
0,0005	118,7	98,9	(75,8)	130,8	108,3	98,6	—	—	*2000*
0,001	117,8	98,3	(75,2)	129,0	106,7	96,9	(133,0)	(112,0)	*1000*
0,002	116,7	97,5	74,3	126,3	104,8	94,7	128,3	108,5	*500*
0,005	114,7	95,7	(72,4)	121,9	100,8	91,1	121,6	102,5	*200*
0,01	112,6	94,0	70,2	117,4	96,8	87,4	115,5	96,2	*100*
(0,02)	109,9	91,5	67,9	111,8	91,9	82,7	109,2	89,5	*(50)*
0,03	107,5	89,9	(66,3)	107,8	88,5	79,3	105,7	85,4	*33,3*
0,05	(104,3)	87,7	64,2	102,5	83,9	74,9	100,7	80,3	*20*
0,1	99,1	83,8	61,1	95,9	78,4	68,1	94,1	72,9	*10*
(0,2)	93,4	79,2	57,1	88,9	71,4	60,9	87,4	65,6	*5*
(0,3)	90,1	76,2	54,0	84,4	66,6	56,4	83,2	60,8	*3,33*
0,5	85,4	71,6	49,4	78,7	59,7	50,7	77,8	54,5	*2*
1	—	63,4	41,2	71,8	50,8	41,4	70,7	45,5	*1*
2	—	51,4	30,0	—	40,0	30,7	62,3	34,5	*0,5*
3	—	40,9	21,8	—	—	—	55,6	27,1	*0,33*
4	—	32,0	15,4	—	—	—	49,2	—	*0,25*
5	—	29,6	(10,5)	—	—	—	42,9	—	*0,2*
7	—	13,5	—	—	—	—	32,0	—	*0,14*
10	—	(3,0)	—	—	—	—	18,1	—	*0,1*

Digitized by Google

(Nach Kohlrausch 12. 1885. Vgl. die vorigen Bemerkungen. Die Zahlen für die verdünnten Lösungen von HCl, HNO_3 und H_2SO_4 sind um etwa 1% vergrößert nach den spec. Gewichten der Normallösungen von Loomis.)

$1000\,\eta$ (m)	$\frac{1}{2}BaCl_2$	$\frac{1}{2}ZnCl_2$	$\frac{1}{2}MgCl_2$	$\frac{1}{2}BaN_2O_6$	$\frac{1}{2}MgSO_4$	$\frac{1}{2}ZnSO_4$	$\frac{1}{2}CuSO_4$	$\frac{1}{2}Na_2SiO_3$	$\frac{1}{1000}\varphi$ (v)
0,0001	120,5	110	—	117,2	110,4	109,3	113,3	—	*10000*
0,0002	119,8	109	—	116,2	108,7	107,2	111,1	—	*5000*
0,0005	118,3	108	—	114,6	104,8	103,1	106,8	—	*2000*
0,001	116,9	107	—	112,8	100,2	98,4	101,6	144	*1000*
0,002	115,0	105	—	110,5	94,4	92,2	93,4	142	*500*
0,005	111,3	101	—	106,3	84,7	82,0	81,5	139	*200*
0,01	107,7	98	102	101,8	76,6	73,4	72,2	136	*100*
(0,02)	103,3	94	97	96,7	68,1	64,8	63,0	132	*50*
0,03	100,5	91	94	(93,3)	62,9	59,5	57,4	129	*33,3*
0,05	96,8	87	90	88,6	57,0	53,5	51,4	124	*20*
0,1	92,2	82	85	80,8	50,1	46,2	45,0	116	*10*
(0,2)	86,7	76	80	71,2	44,0	40,1	39,2	105	*5*
(0,3)	83,0	71	(76)	65,0	40,4	36,8	35,5	98	*3,33*
0,5	77,6	65	(71)	56,7	35,4	32,3	30,8	88	*2*
1	70,3	55	63	(44,7)	28,9	26,6	25,8	72	*1*
2	60,3	40	—	—	21,4	20,1	20,1	51	*0,5*
3	52,3	30	—	—	16,1	15,6	(16,0)	38	*0,33*
4	—	23	—	—	12,0	11,9	—	27	*0,25*
5	—	19	—	—	8,8	9,0	—	19	*0,2*
7	—	12,5	—	—	—	—	—	9	*0,14*
10	—	7,3	—	—	—	—	—	—	*0,1*

$1000\,\eta$ (m)	KOH	NaOH	HCl	HNO_3	$\frac{1}{2}H_2SO_4$	$\frac{1}{3}H_3PO_4$	$C_2H_4O_2$	NH_3	$\frac{1}{1000}\varphi$ (v)
0,0001	—	—	—	—	—	—	107	(66)	*10000*
0,0002	—	—	—	—	—	—	80	53	*5000*
0,0005	—	—	—	—	(368)	—	57	38,0	*2000*
0,001	(234)	(208)	(377)	(375)	361	(106)	41	28,0	*1000*
0,002	(233)	(206)	376	374	351	102	30,2	20,6	*500*
0,005	230	(203)	373	371	330	93	20,0	13,2	*200*
0,01	228	(200)	370	368	308	85	14,3	9,6	*100*
(0,02)	225	(197)	367	364	286	(74)	10,4	7,1	*50*
0,03	222	(194)	364	361	272	(67)	8,35	5,8	*33,3*
0,05	219	(190)	360	357	253	—	6,48	4,6	*20*
0,1	213	(183)	351	350	225	—	4,60	3,3	*10*
(0,2)	206	178	342	340	214	—	3,24	2,30	*5*
(0,3)	203	(176)	336	334	210	—	2,65	1,83	*3,33*
0,5	197	(172)	327	324	205	—	2,01	1,35	*2*
1	184	160	301	310	198	(22)	1,32	0,89	*1*
2	160,8	131,4	254	258	183,0	19	0,80	0,532	*0,5*
3	140,6	108,0	215,0	220	166,8	17,7	0,54	0,364	*0,33*
4	122,2	86,8	181,5	186	151,4	17,4	0,390	0,269	*0,25*
5	105,8	69,0	152,2	156,0	135,0	17,1	0,285	0,202	*0,2*
7	77,2	43,6	106,2	109,0	105,5	16,5	0,154	0,116	*0,14*
10	44,8	20,2	64,4	65,4	70,0	15,5	0,049	0,054	*0,1*

Digitized by Google

(Bis $1000\,\eta = 1$ nach Mac Gregory. Grofsenteils interpolirt. Die Konzentrationen sind nach den specifischen Gewichten der Lösungen bei $Ca(NO_3)_2$ um 4,2 % bei $Sr(C_2H_3O_2)_2$ um 0,9 % gröfser, bei $Ba(C_2H_3O_2)_2$ um 4,9 % und bei $Ca(C_2H_3O_2)_2$ um 8,7 % kleiner angenommen als bei Mac Gr. Die konzentrirten Lösungen nach Tab. 1 interpolirt.)

$1000\,\eta$ (m)	$\frac{1}{2}K_2C_2O_4$	$\frac{1}{2}SrCl_2$	$\frac{1}{2}CaCl_2$	$\frac{1}{2}Sr(NO_3)_2$	$\frac{1}{2}Ca(NO_3)_2$	$\frac{1}{2}Ba(C_2H_3O_2)_2$	$\frac{1}{2}Sr(C_2H_3O_2)_2$	$\frac{1}{2}Ca(C_2H_3O_2)_2$	$\frac{1}{2}CaSO_4$	$\frac{1}{1000}\varphi$ (v)
0,0001	(125,0)	(118,7)	115,2	(112)	112	(88)	(82,5)	82,3	114,9	*10000*
0,0002	(124,3)	(117,6)	114,4	(111)	110,9	87,1	(82,1)	81,7	113,8	*5000*
0,0005	122,9	116,0	112,9	109,1	109,4	86,1	81,1	80,7	109,3	*2000*
0,001	121,5	114,5	111,5	107,5	108,0	85,0	80,1	79,6	104,3	*1000*
0,002	119,7	112,5	109,6	105,4	106,2	83,3	78,5	78,2	97,0	*500*
0,005	116,3	108,9	106,4	101,8	102,6	80,4	75,8	75,0	85,9	*200*
0,01	112,8	105,4	103,2	98,3	99,2	77,1	62,8	71,9	77,0	*100*
(0,02)	108,3	101,0	99,1	93,9	94,7	72,6	69,1	67,9	—	*50*
0,03	105,0	98,0	96,3	90,5	91,8	69,5	66,5	64,8	—	*33,3*
0,05	100,4	94,4	92,8	86,2	87,9	65,7	62,3	60,3	—	*20*
0,1	94,5	90,2	87,9	80,2	82,1	60,2	56,7	54,0	—	*10*
0,2	88,7	85,1	82,6	73,3	75,6	53,9	50,0	46,9	—	*5*
0,3	85,1	81,1	79,3	68,6	71,2	49,5	46,0	42,4	—	*3,33*
0,5	80,4	75,7	74,7	62,2	65,5	43,8	40,2	36,3	—	*2*
1	73,6	68,5	67,8	51,7	56,2	34,3	30,9	26,3	—	*1*
2	—	58,2	58,0	38,4	45,3	—	—	—	—	*0,5*
3	—	49,7	49,7	28,9	35,8	—	—	—	—	*0,33*
4	—	(42,2)	42,4	21,1	27,7	—	—	—	—	*0,25*
5	—	—	40,8	16,4	21,5	—	—	—	—	*0,2*
7	—	—	23,5	—	—	—	—	—	—	*0,14*
10	—	—	(11)	—	—	—	—	—	—	*0,1*

(Nach Grotrian 8. 1883 u. Wershoven 1890. Neu interpolirt.)

$1000\,\eta$ (m)	$\frac{1}{2}CdCl_2$	$\frac{1}{2}CdBr_2$	$\frac{1}{2}CdJ_2$	$\frac{1}{2}Cd(NO_3)_2$	$\frac{1}{2}CdSO_4$	$\frac{1}{2}K_2CdJ_4$	$\frac{1}{1000}\varphi$ (v)
0,001	—	—	—	—	—	215	*1000*
0,002	—	99	92	—	92	204	*500*
0,005	91	86,5	76,7	100	80,5	186	*200*
0,01	83	76,3	65,6	96	71,8	169	*100*
0,02	73	65,5	53,9	92,5	61,8	152	*50*
0,05	59	53,2	40,1	86,4	49,6	128	*20*
0,1	50,0	44,6	31,0	80,8	42,4	113	*10*
0,2	41,2	36,2	24,2	74,2	36,2	101	*5*
0,5	30,8	25,3	18,3	63,9	29,1	89	*2*
1	22,4	18,3	15,4	54,3	23,8	82	*1*
2	14,4	13,3	12,1	41,2	17,9	73	*0,5*
3	9,9	9,1	9,9	31,5	14,2	—	*0,33*
4	7,2	7,0	7,9	23,8	11,0	—	*0,25*
5	5,3	5,3	—	17,9	8,5	—	*0,2*
7	3,0	—	—	10,0	—	—	*0,14*
9	1,4	—	—	—	—	—	*0,11*

Digitized by Google

(Nach Vicentini 2. 1885. Der Reduktionsfaktor ist unsicher.)

	$1000\eta = m$	Λ		$1000\eta = m$	Λ
$\frac{1}{2} Li_2CO_3$	0,0040	83	$\frac{1}{6} Al_2Cl_6$	0,0087	86
	0,0030	84		0,0020	86
	0,00175	89		0,00157	89
$\frac{1}{2} Ag_2SO_4$	0,00344	104			
	0,00169	108	$\frac{1}{2} FeCl_2$	0,0038	73
	0,00080	112		0,0025	75
	0,00046	117		0,00101	76
$\frac{1}{2} CuCl_2$	0,0132	80			
	0,0059	92	$\frac{1}{2} FeSO_4$	0,00318	72
	0,0030	93		0,00157	78
	0,0016	96		0,00128	81
	0,00094	100		0,00086	83

3. Äquivalent-Leitvermögen $\Lambda = \frac{\varkappa}{\eta}$ unorganischer Körper. 25°.

(Nach Löb u. Nernst. 1888.)

$1000\eta = m =$	0,025	0,015	0,007	0,003	0,0015	0,0008
Silber-Nitrat[1]) $AgNO_3$	120,4	123,3	127,0	128,9	130,5	131,7
-Chlorat $AgClO_3$	111,7	117,9	120,1	123,1	124,0	124,3
-Perchlorat $AgClO_4$	118,6	121,8	124,0	126,4	127,7	128,3
-Äthylsulfonat $AgO_4SC_2H_5$	—	—	96,8	99,4	100,8	101,5
-Naphtalinsulfonat $AgO_3SC_{10}H_7$	—	94,3	95,5	99,0	100,6	101,7
-ψ-Kumolsulfonat $AgO_3SC_9H_{11}$	78,5	81,5	84,6	86,9	88,3	89,4
-Benzolsulfonat $AgO_3SC_6H_5$	—	90,4	93,4	95,9	96,2	96,9
-Acetat $AgO_2C_2H_3$	—	—	95,9	99,0	100,9	101,5
-Dithionat $\frac{1}{2} Ag_2S_2O_6$	134,0	143,6	147,9	154,2	157,6	160,9
-Silikofluorid $\frac{1}{2} Ag_2SiFl_6$	106,4	109,1	112,7	115,6	117,2	117,6

[1]) Für $1000\eta =$ 0,1 0,05.
ist $\Lambda =$ 109,3 116,1.

Digitized by Google

$1/m = 1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter*
Kalium-Chlorid KCl	135,7	139,4	142,4	145,7	148,0	149,1	*O.16*
	136,4	140,2	142,5	144,4	146,1	147,3	*W.2*
	135,5	—	—	—	146,4	147,8	*Br.2*
	136,3	139,4	142,4	144,4	147,3	148,5	*Bo*
-Chlorat $KClO_3$	122,9	127,0	130,3	133,1	135,2	135,6	*O.16*
	123,9	127,9	130,7	133,3	134,7	136,0	*W.2*
-Perchlorat $KClO_4$	131,9	135,9	140,3	143,5	145,8	146,4	*O.16*
-Bromid KBr	137,2	140,9	145,1	148,2	150,1	150,5	
-Bromat $KBrO_3$	114,4	118,2	121,0	123,2	124,9	126,3	*W.2*
-Jodid KJ	137,0	140,8	144,3	147,1	148,8	150,0	*O.16*
-Jodat KJO_3	100,8	104,4	107,4	109,7	111,5	112,7	*W.2*
Saures Kal.-Jodat $KH(JO_3)_2$	385,8	420,3	444,8	460,5	468,7	473,0	
Kalium-Fluorid KFl	114,7	118,0	120,8	123,1	124,8	126,1	
Saures Kal.-Fluorid $KHFl_2$	130,3	142,1	158,5	174,1	219,3	272,1	
Kal.-Permanganat $KMnO_4$	121,7	125,3	128,3	130,3	131,2	132,4	*Br.1*
-Nitrat KNO_3	128,0	132,4	136,4	139,5	141,7	141,8	*O.16*
-Nitrit [1] KNO_2	147,7	151,5	155,1	158,6	161,9	166,9	*N.R.*
-Sulfat $\frac{1}{2}K_2SO_4$	124,1	131,5	137,3	141,9	145,8	148,9	*W.2*
-Chromat $\frac{1}{2}K_2CrO_4$	129,6	136,3	141,3	145,5	148,3	150,4	*W.1*
-Bichromat $\frac{1}{2}K_2Cr_2O_7$	122,3	124,7	125,7	126,3	127,0	129,9	
-Bisulfit $KHSO_3$	108,6	113,5	118,0	122,3	(126,4)	(129,8)	*Ba.*
-Bisulfat $KHSO_4$	339,5	385,4	428,3	469,9	507,4	530,8	
-Sulfit [2] $\frac{1}{2}K_2SO_3$	119,4	125,9	131,1	135,7	139,5	143,6	
-Merkurisulfonat $\frac{1}{2}K_2Hg(SO_3)_2$	110,9	117,5	123,1	127,4	131,2	134,3	
Monokal.-Arseniat KH_2AsO_4	93,9	97,6	100,3	102,6	104,7	106,3	*W.2*
Tetrakal.-Ferrocyanid $\frac{1}{4}K_4Fe(CN)_6$	115,6	127,4	138,9	149,1	156,9	162,7	
Trikal.-Ferricyanid $\frac{1}{3}K_3Fe(CN)_6$	129,7	138,4	146,6	153,5	158,6	163,6	
Kal.-Chromicyanid $\frac{1}{3}K_3Cr(CN)_6$	139,5	148,7	155,7	162,0	167,3	171,9	
-Platinchlorid $\frac{1}{2}K_2PtCl_6$	116,0	122,3	127,3	131,2	134,4	137,3	
-Persulfat $\frac{1}{2}K_2S_2O_8$	126,7	135,1	142,0	146,7	150,5	153,5	*Br.1*
Ammonium-Chlorid NH_4Cl	135,1	138,9	142,1	144,4	146,0	147,6	*Br.2*
-Platinchlorid $\frac{1}{2}(NH_4)_2PtCl_6$	—	123,1	128,3	132,7	135,9	138,2	*W.2*
Natrium-Chlorid NaCl	113,6	116,9	119,8	121,4	124,9	126,3	*O.16*
	114,6	117,9	120,4	122,6	124,7	125,9	*W.2*
-Chlorat $NaClO_3$	101,3	104,6	107,1	109,8	111,6	112,3	*O.16*
-Perchlorat $NaClO_4$	111,4	114,9	117,7	120,0	121,6	123,7	
	112,9	116,4	119,2	121,7	123,7	125,2	*W.2*

[1] $v = 2048$, $\Lambda = 172{,}7$ | [2] $v =$ 0,5 1 2 4 8 16, $\Lambda =$ 69,2 77,9 86,5 95,0 103,2 111,2.

* Barth (*Ba.*), Boltwood (*Bo.*), Bredig (*Br.*), E. Franke (*F.*), Niementowski-Roszkowski (*N.R.*), Ostwald (*O.*), Walden (*W.*).

Digitized by Google

$1/m = 1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Natrium-Bromid $NaBr$	115,0	118,2	121,3	124,2	126,4	127,8	*O.16*
-Jodid NaJ	112,7	116,5	119,7	122,8	125,7	127,0	
-Jodat $NaJO_3$	79,3	82,4	85,0	87,1	88,8	90,2	*W.2*
Mononatriumperjodat NaH_4JO_6	93,4	96,7	99,3	101,6	103,2	104,6	*W.2*
Dinatriumperjodat $\frac{1}{2}Na_2H_3JO_6$	77,9	88,0	96,8	106,9	109,8	111,5	
Trinatriumperjodat $\frac{1}{3}Na_3H_2JO_6$	114,6	128,1	135,0	138,1	137,3	134,9	
Pentanatriumperjodat $\frac{1}{5}Na_5JO_6$	151,1	163,6	170,0	171,6	170,3	165,7	
Natrium-Fluorid $NaFl$	93,0	96,1	98,8	101,1	102,8	104,0	
-Nitrat $NaNO_3$	108,2	111,8	114,7	117,5	119,4	120,1	*O.16*
-Nitrit [1]) $NaNO_2$	110,0	112,6	115,7	118,7	121,6	125,3	*N.R.*
Mononatriumphosphat NaH_2PO_4	74,6	77,7	80,3	82,2	84,1	86,1	*W.1*
Dinatriumphosphat $\frac{1}{2}Na_2HPO_4$	85,1	90,7	95,6	98,5	99,8	100,7	
Trinatriumphosphat $\frac{1}{3}Na_3PO_4$	104,2	114,4	120,6	123,2	123,3	122,1	
Natrium-Pyrophosphat $\frac{1}{4}Na_4P_2O_7$	79,9	90,3	100,3	109,5	115,4	118,1	
-Wolframat $\frac{1}{2}Na_2WO_4$	95,9	101,8	110,4	110,3	112,9	116,4	
-Molybdat $\frac{1}{2}Na_2MoO_4$	100,5	106,1	111,0	114,6	117,8	120,8	
-Selenat $\frac{1}{2}Na_2SeO_4$	100,0	105,7	111,0	114,6	117,5	120,3	*W.2*
-Metaarsenit $NaAsO_2$	78,4	82,3	86,6	90,1	93,4	96,5	
Mononatriumarseniat NaH_2AsO_4	72,3	75,5	78,3	80,6	82,7	84,0	
Dinatriumarseniat $\frac{1}{2}Na_2HAsO_4$	84,5	90,6	94,9	98,4	100,9	102,5	
Natriumorthoarsenit $\frac{1}{3}Na_3AsO_3$	168,9	171,6	171,9	171,3	167,6	165,0	
Trinatriumarseniat $\frac{1}{3}Na_3AsO_4$	101,2	112,8	121,6	126,7	127,6	126,6	
Natrium-Pyrosulfit $\frac{1}{2}Na_2S_2O_5$	72,6	77,3	80,2	81,2	80,0	74,0	*W.1*
-Tetraborat $\frac{1}{2}Na_2B_4O_7$	72,5	76,9	79,8	82,2	84,6	86,9	
-Metaborat $\frac{1}{2}Na_2B_2O_4$	73,3	77,8	81,4	84,3	86,9	89,1	
-Bisulfit $NaHSO_3$	86,2	90,3	94,6	98,6	(102,1)	(105,3)	*Ba.*
-Bisulfat $NaHSO_4$	311,9	366,2	408,3	449,9	488	513	
-Sulfit [2]) $\frac{1}{2}Na_2SO_3$	94,5	101,3	106,5	110,7	113,2	114,6	
-Merkurisulfonat $\frac{1}{2}Na_2Hg(SO_3)_2$	91,5	97,0	101,7	105,2	109,6	113,5	
-Platincyanür $\frac{1}{2}Na_2Pt(CN)_4$	110,6	116,5	120,9	124,7	127,7	130,4	*W.2*
-Permanganat $NaMnO_4$	—	103,8	107,0	108,5	111,5	112,8	*F.*
Natriumkaliumsulfit [3]) $\frac{1}{2}NaKSO_3$	105,2	111,0	116,4	121,1	124,0	125,5	*Ba.*

[1]) $v = 2048$, $\Lambda = 130{,}0$

$v =$	0,25	0,5	1	2	4	8	16
[2]) $\Lambda =$	27,4	42,2	53,9	64,1	72,9	79,9	87,9.
[3]) $\Lambda =$	40,1	54,4	65,9	74,7	83,0	90,9	98,3.

Digitized by Google

$1/m = 1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Rubidium-Chlorid $RbCl$	138,0	141,8	145,5	148,1	149,4	151,0	*Br.2*
	138,7	143,4	146,5	148,3	149,8	152,0	*Bo.*
Cäsium-Chlorid $CsCl$	137,6	142,0	145,6	148,5	150,0	151,7	*Br.2*
	139,0	143,3	146,4	148,3	150,7	153,0	*Bo.*
Lithium-Chlorid $LiCl$	103,8	106,5	109,8	112,4	114,6	116,1	*O.16*
-Chlorat $LiClO_3$	91,5	94,2	96,8	99,4	100,4	101,5	
-Perchlorat $LiClO_4$	101,5	104,8	107,6	109,9	111,9	113,1	
-Permanganat $LiMnO_4$	87,2	90,2	94,0	96,5	98,9	101,5	*F.*
-Jodid LiJ	103,8	106,4	110,6	112,0	114,0	114,5	*O.16*
-Nitrat $LiNO_3$	97,9	100,7	104,1	106,6	108,2	108,7	
Silber-Nitrit [1] $AgNO_2$	—	87,9	101,6	112,8	122,0	129,6	*N. R.*
-Permanganat $AgMnO_4$	—	113,3	116,6	118,2	119,4	120,1	*F.*
Thallo-Chlorid $TlCl$	—	—	139,6	143,1	145,1	—	*F.*
-Fluorid $TlFl$	115,9	120,6	123,7	126,2	128,1	130,1	
-Nitrat $TlNO_3$	128,7	133,3	137,6	140,1	142,0	142,6	
-Chlorat $TlClO_3$	123,6	127,8	129,8	132,1	134,2	135,4	
-Bromat $TlBrO_3$	—	—	122,9	125,5	126,3	128,1	
-Jodat $TlJO_3$	—	—	—	—	111,5	112,0	
-Perchlorat $TlClO_4$	129,3	134,0	137,5	139,6	141,9	143,7	
Monothallophosphat TlH_2PO_4	—	96,9	101,1	104,0	106,5	108,7	
Thalloarseniat [2] $\frac{1}{2}Tl_2HAsO_4$	74,3	78,3	81,2	82,8	84,2	85,4	
Neutr. Thallophosphat $\frac{1}{3}Tl_3PO_4$	—	—	106,5	117,8	122,9	122,9	
Thallo-Sulfat [3] $\frac{1}{2}Tl_2SO_4$	113,1	122,9	131,2	138,3	143,1	146,4	
-Dithionat $\frac{1}{2}Tl_2S_2O_6$	131,7	141,9	151,7	160,2	166,7	170,6	
-Selenat $\frac{1}{2}Tl_2SeO_4$	111,2	120,7	129,0	134,7	138,6	142,2	
-Selenit $\frac{1}{2}Tl_2SeO_3$	83,0	94,9	106,1	115,2	123,7	130,8	
-Karbonat $\frac{1}{2}Tl_2CO_3$	93,5	107,3	119,2	129,9	137,1	143,4	
Magnesium-							
-Chlorid $\frac{1}{2}MgCl_2$	108,2	113,5	118,0	121,6	124,6	127,4	*W.1*
-Bromid $\frac{1}{2}MgBr_2$	109,3	114,7	119,2	122,7	125,7	128,5	
-Nitrat $\frac{1}{2}Mg(NO_3)_2$	104,6	111,0	115,7	119,0	122,9	125,6	
-Jodat $\frac{1}{2}Mg(JO_3)_2$	71,6	77,0	81,7	85,6	89,4	92,5	*W.2*
-Sulfat $\frac{1}{2}MgSO_4$	73,0	83,0	92,6	101,8	110,1	116,9	*W.1*
-Selenat $\frac{1}{2}MgSeO_4$	72,8	82,0	91,1	98,9	105,8	112,7	
-Chromat $\frac{1}{2}MgCrO_4$	80,6	90,6	98,9	107,2	114,3	119,0	
-Thiosulfat $\frac{1}{2}MgS_2O_3$	94,1	105,1	113,9	122,2	128,8	135,2	
-Platincyanür $\frac{1}{2}MgPt(CN)_4$	120,0	129,3	138,0	145,7	152,4	158,5	
-Ferrocyanid $\frac{1}{4}Mg_2Fe(CN)_6$	96,4	106,9	116,3	117,3	139,9	154,2	

[1] $v = 2048$, $\Lambda = 136{,}9$ | $v = 16$

[2] $\Lambda = 70{,}4$.

[3] $\Lambda = 101{,}3$.

Digitized by Google

$1/m = 1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Barium-Permanganat $\frac{1}{2}Ba(MnO_4)_2$	93,4	100,0	105,1	108,0	112,5	114,4	*F.*
-Hyposulfat $\frac{1}{2}Ba(SO_3)_2$	91,2	103,5	114,2	124,0	132,4	139,5	*W. 1*
-Hypophosphit $\frac{1}{2}BaH_4(PO_2)_2$	84,1	89,9	94,3	98,1	101,1	104,0	
Strontiumpermanganat $\frac{1}{2}Sr(MnO_4)_2$	—	107,7	111,6	114,7	116,8	117,6	*F.*
Calciumpermanganat $\frac{1}{2}Ca(MnO_4)_2$	—	103,6	108,1	111,8	116,0	119,1	
Blei-Chlorid $\frac{1}{2}PbCl_2$	99,8	110,8	120,3	129,1	135,5	141,9	
-Nitrat[1] $\frac{1}{2}Pb(NO_3)_2$	107,9	116,7	123,8	130,3	134,2	135,5	
Nickel-Chlorid $\frac{1}{2}NiCl_2$	107,2	113,9	118,3	122,6	125,6	127,1	
-Nitrat $\frac{1}{2}Ni(NO_3)_2$	100,7	106,5	110,8	115,8	118,1	120,8	
-Sulfat $\frac{1}{2}NiSO_4$	66,7	77,4	88,2	98,9	109,3	117,4	
Kobalt-Chlorid $\frac{1}{2}CoCl_2$	107,1	112,3	117,6	121,5	124,5	126,5	
-Nitrat $\frac{1}{2}Co(NO_3)_2$	99,8	105,1	108,9	112,8	115,9	118,6	
-Sulfat $\frac{1}{2}CoSO_4$	66,4	77,1	87,3	97,7	107,2	115,1	
Kupfernitrat[2] $\frac{1}{2}Cu(NO_3)_2$	105,2	111,2	116,1	119,2	120,4	122,5	
Aluminiumsulfat $\frac{1}{6}Al_2(SO_4)_3$	51,1	60,6	71,2	83,1	95,3	107,2	*W. 1*
Chromsulfat $\frac{1}{6}Cr_2(SO_4)_3$	67,4	78,3	90,7	105,0	119,3	128,1	

$v =$	4	8	16
[1]) $\Lambda =$			98,0.
[2]) $\Lambda =$	84,9	92,0	99,1.

Digitized by Google

3a. Molekulares Leitvermögen von unorganischen Säuren und Basen. 25°.

$1/m = 1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$ 2		4	8	16	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Salzsäure	HCl	353	366	378	386	393	399	401	403	—	—	*Ostwald*
Chlorsäure	$HClO_3$	353	364	373	381	387	391	399	402	402	402	*16*
Überchlorsäure	$HClO_4$	358	372	383	390	399	404	406	407	407	407	
Bromwasserstoff	HBr	364	377	385	391	398	402	405	405	406	405	
Bromsäure	$HBrO_3$	—	—	—	—	359	370	381	390	396	401	
Jodwasserstoff	HJ	364	376	384	391	397	402	405	406	406	404	
Jodsäure	HJO_3	193	229	268	301	327	349	364	371	376	377	
Überjodsäure	HJO_4	—	108	139	179	223	270	312	348	374	387	
Fluorwasserstoff	HFl	—	29,6	35,8	44,3	59,5	78,6	104,7	138	177	224	
Unterschwefelsäure	$H_2S_2O_6$	—	720	726	754	773	790	806	815	822	829	
Tetrathionsäure	$H_2S_4O_6$	—	—	729	748	773	788	808	822	830	843	
Selenige Säure	H_2SeO_3	34,6	44,1	57,0	74,9	98,4	128	164	204	246	285	
Selensäure	H_2SeO_4	440	468	498	533	575	626	674	720	744	769	
Phosphorsäure[1])	H_3PO_4	64	77	96	124	156	195	240	279	317	341	
Unterphosphorige Säure	H_3PO_2	140	172	207	245	281	312	335	352	361	367	
Phosphorige Säure	H_3PO_3	129	156	187	222	257	292	318	337	351	358	
Rhodanwasserstoffsäure	HSCN	348	359	368	375	382	386	391	391	393	—	
Ferrocyanwasserstoffsäure[2])	$H_4Fe(CN)_6$	—	—	750	875	934	1000	1064	1134	1214	1301	
Kieselfluſssäure[3])	H_2SiFl_6	216	260	281	304	324	342	358	377	415	495	
Übermangansäure	$HMnO_4$	336	354	371	377	385	392	398	403	403	401	*Lovèn 2*
Arsensäure	H_3AsO_4	—	—	73,1	95,6	125,5	160,6	201,4	243,7	282,6	310,4	*Walden 2*
Chromsäure	H_2CrO_4	—	—	—	371	379	384	387	387	383	378	
Schweflige Säure	H_2SO_3	—	—	—	—	189,2	229,1	264,9	297,4	323,3	346	*Barth*
Ammoniak	NH_4OH	1,56	2,24	3,21	4,55	6,53	9,29	13,4	19,0	27,5	39,4	*Ostwald*
Calciumhydroxyd	CaO_2H_2	—	—	—	—	—	406	469	447	455	—	*16*
Bariumhydroxyd	BaO_2H_2	—	—	372	392	410	429	448	461	465	469	
Strontiumhydroxyd	SrO_2H_2	—	—	—	—	405	419	432	446	451	452	
Thalliumhydroxyd	TlOH	—	182	200	217	230	238	244	248	248	—	

Für $v = 2048$ ist $\Lambda =$ [1]) 378. [2]) 1378. [3]) 652.
Für $v = 4096$ ist $\Lambda =$ [2]) 1445. [3]) 847.

Digitized by Google

4. Äquivalent-Leitvermögen von organischen Salzen. 25°.

$^1/m = {}^1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Natriumsalz der einwertigen							
Akrylsäure	75,7	78,7	81,2	83,6	85,6	87,1	*Ostw. 16*
Ameisensäure	93,6	96,7	98,7	100,6	102,6	104,6	
m-Amidobenzoësäure	71,0	73,6	76,1	78,6	79,9	81,2	
o- „	70,9	73,4	76,1	78,4	80,3	81,9	
Angelikasäure	70,7	73,1	75,8	77,5	79,3	81,0	
Anissäure	70,1	72,5	75,0	77,0	78,7	80,2	
Benzoësäure	73,2	74,9	77,1	79,1	80,6	82,1	
	71,4	74,5	76,9	79,1	81,0	83,6	*Br. 2*
Benzschleimsäure	74,4	77,0	79,4	82,0	84,5	85,9	*Ostw. 16*
m-Brombenzoësäure	71,7	74,5	77,0	79,1	80,8	82,3	
Bromessigsäure	77,0	80,4	83,1	85,3	87,2	89,7	*Br. 2*
Buttersäure	71,8	74,4	77,0	78,9	80,7	82,5	*Ostw. 16*
o-Chlorbenzoësäure	71,7	74,2	76,9	79,4	81,2	82,9	
β-Chlorkrotonsäure	72,7	75,5	77,9	80,2	82,5	84,0	
α-Chlorisokrotonsäure	72,9	76,7	78,0	80,2	82,1	84,4	
β- „	72,9	75,5	77,8	80,2	82,1	84,1	
Diäthylessigsäure	67,9	70,2	72,7	74,6	76,5	78,2	*Fr.*
Dichloressigsäure	76,6	79,7	82,1	84,1	85,7	87,2	*Ostw. 16*
Essigsäure	80,5	82,7	85,1	87,0	89,0	90,6	
	78,8	82,4	85,1	87,4	89,3	91,7	*Br. 2*
Glykolsäure	78,9	81,4	84,2	86,6	88,5	90,3	*Ostw. 16*
Hydrosorbinsäure	69,2	72,1	75,2	77,4	79,1	80,2	
β-Jodpropionsäure	71,6	74,8	77,1	79,3	81,2	84,1	*Br. 2*
Isobuttersäure	71,6	74,6	77,3	79,4	81,2	82,8	
Isobutylessigsäure	67,5	70,4	72,9	75,3	77,0	78,5	*Fr.*
Isovaleriansäure	69,9	72,0	74,2	75,9	77,6	79,3	
Kapronsäure	68,6	71,2	73,4	75,3	77,2	78,9	*Ostw. 16*
	68,2	70,9	73,1	74,8	76,8	78,7	*Fr.*
α-Krotonsäure	73,6	75,9	78,0	80,2	81,8	84,0	*Ostw. 16*
β- „	73,9	75,7	78,5	80,5	82,4	84,1	
Mandelsäure	68,9	71,6	74,2	76,2	78,2	79,9	
Milchsäure	74,2	76,3	79,0	81,4	83,4	85,1	
Monochloressigsäure	78,6	81,2	83,8	86,0	87,7	90,5	
	78,1	81,5	84,3	86,5	88,6	91,4	*Br. 2*
Nikotinsäure	72,9	75,4	78,0	80,3	82,4	84,0	*Ostw. 11a*
Nitrobarbitursäure	71,4	75,8	78,3	79,9	81,5	83,1	*Trübsb.*
o-Nitrobenzoësäure	71,1	73,7	75,9	78,1	79,7	81,4	*Ostw. 16*
p- „	71,8	74,0	76,2	78,5	79,9	81,4	
Phenylpropiolsäure	68,9	71,3	73,6	75,8	77,2	79,2	
Phenylglykolsäure	69,0	71,6	74,0	75,9	78,0	79,7	
Phtalanilsäure	64,7	67,6	70,2	72,3	75,4	75,7	
Phtalursäure	65,1	68,0	70,5	72,5	75,5	76,0	
Pikrinsäure	72,8	76,0	78,0	79,7	81,3	82,6	
Propionsäure	75,5	78,0	80,9	82,7	85,9	86,3	
Salicylsäure	73,1	76,4	78,8	80,8	82,7	85,3	*Br. 2*
Succinursäure	67,4	69,9	72,6	74,8	76,5	77,9	*Ostw. 16*
Tetrolsäure	77,2	80,1	82,3	84,2	86,1	87,8	

Digitized by Google

$^1/m = {}^1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Natriumsalz der einwertigen							
Thiacetsäure	84,1	87,4	90,1	92,2	93,9	96,6	*Br. 2*
Tiglinsäure	70,8	73,3	75,8	77,8	79,6	80,8	*Ostw. 16*
α-Toluylsäure	70,9	73,3	75,8	78,0	80,2	81,4	
m- „	71,6	73,7	76,0	78,2	80,5	81,7	
o- „	70,9	73,7	76,5	78,2	80,1	81,5	
p- „	70,6	73,1	75,5	77,8	79,9	81,7	
Trichloressigsäure	74,2	75,8	79,1	81,2	82,9	84,4	
Trichlormilchsäure	69,5	71,8	74,4	76,4	78,1	79,3	
Tropasäure	68,2	70,6	73,0	75,0	76,9	78,5	
Valeriansäure	69,9	72,5	74,9	77,0	78,7	80,4	
	70,4	72,8	74,9	77,2	78,9	80,6	*Fr.*
Zimmtsäure	68,5	71,0	73,1	75,5	77,2	78,7	*Ostw. 16*
Mononatriumsalz der zweiwertigen							
Äpfelsäure	76	—	86	—6	98	108	*Wal. 3*
Barbitursäure	68,8	73,1	74,8	76,6	78,4	79,4	*Trübsb.*
Brenzweinsäure	75	—	81	—	89	95	*Wal. 3*
Citrakonsäure	75	—	81	—	89	95	
Malonsäure	81	—	89	—	97	105	
α-Nitrophtalsäure	78	—	99	—	128	146	
Oxalsäure	97	—	121	—	155	176	
Traubensäure und Weinsäure	78	—	93	—	121	141	
Monokaliumsalz der zweiwertigen							
Para-Weinsäure	101,8	109,5	117,6	128,8	145,0	165,7	
Anti- „	95,5	102,1	107,9	115,0	124,3	137,1	
Rechts- „	101,6	109,7	117,7	128,8	144,9	166,3	
Links- „	101,8	109,7	118,0	129,2	145,4	166,1	
Alkylsulfate und Sulfonate.							
Kalium-m-Nitrobenzolsulfonat	94,9	98,0	100,3	102,5	104,2	105,0	*Ostw. 16*
Kalium-φ-Kumolsulfonat	90,5	93,7	95,8	98,0	99,9	100,6	
Natriummethylsulfat	87,0	89,9	92,2	93,9	95,4	96,8	
Natriumäthylsulfat	84,3	87,2	89,1	90,4	90,9	93,3	
Natriumpropylsulfat	77,6	80,3	82,4	84,8	86,6	88,4	
Natriumisobutylsulfat	73,4	76,5	78,9	81,0	82,7	83,1	
Natriumbenzolsulfonat	75,5	78,2	81,0	83,0	84,9	85,9	
Natriumnitrobenzolsulfonat	74,3	77,2	79,7	80,7	82,8	84,0	
Natriumnaphtalinsulfonat	71,0	73,7	76,6	79,0	80,5	81,4	
Natrium-ψ-Kumolsulfonat	68,3	70,0	73,6	75,7	77,5	78,1	
Lithiumbenzolsulfonat	64,5	66,9	69,5	71,7	73,3	73,8	
Lithium-m-Nitrobenzolsulf.	62,7	65,2	67,5	69,2	70,4	70,9	
Lithiumnaphtalinsulfonat	60,7	64,0	66,0	68,3	69,6	70,4	
Dinatriumsalz der zweiwertigen							
Acethylendikarbonsäure	90,1	94,9	99,4	103,0	105,9	108,5	*Br. 2*
Äpfelsäure	87,6	92,9	97,4	101,2	104,2	106,8	
	88	—	97	—	105	108	*Wal. 3*

Digitized by Google

$1/m = 1/(10^8\eta) = v = 10^{-8}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Dinatriumsalz der zweiwertigen							
Äthylmalonsäure	84,1	89,1	93,7	97,3	99,6	102,0	*Br. 2*
Adipinsäure	81,0	85,7	89,5	92,5	95,1	97,3	
Barbitursäure	98,1	111,4	121,7	127,6	129,0	131,1	*Trübsb.*
Brenzweinsäure	83,9	88,5	92,8	96,6	98,8	101,3	*Br. 2*
	83,6	88,5	92,4	95,7	98,6	100,7	*Wal. 2*
Citrakonsäure	87	—	96	—	102	105	
Chinolinsäure	82,3	87,2	92,0	96,3	99,8	103,4	*Ostw.11a*
	82,0	—	91,4	—	97,6	100,0	*Wal. 3*
Dibromsuccinursäure	85,3	90,5	93,9	97,3	99,9	103,5	*Br. 2*
Diglykolsäure	86,7	91,5	96,2	100,4	102,7	105,9	
Fumarsäure	90,0	94,9	99,2	102,8	105,6	108,1	
Glutarsäure	83,7	88,6	92,9	95,4	98,3	100,8	
Itakonsäure	86,4	91,5	95,8	98,7	101,9	103,8	
Maleinsäure	90,3	95,3	100,3	103,6	106,2	108,3	
	90,1	95,5	100,0	103,4	106,6	109,1	*Wal. 2*
Malonsäure	93,2	98,6	103,3	106,9	109,6	111,4	*Br. 2*
	92	—	103	—	109	112	*Wal. 3*
Mesakonsäure	86,3	91,1	95,7	98,7	101,0	103,4	*Br. 2*
Monobromsuccinursäure	87,4	93,0	96,8	101,0	103,5	106,3	
α-Nitrophtalsäure	81	—	91	—	—	99	*Wal. 3*
Oxalsäure	101,1	107,0	112,5	116,6	119,7	122,2	*Br. 2*
	99	—	110	—	118	121	*Wal. 3*
Phenylpyridindikarbonsäure	75,2	79,3	83,7	87,5	90,7	94,4	*Ostw.11a*
Phtalsäure	82,1	87,5	91,7	95,9	98,0	100,4	*Br. 2*
Pimelinsäure	79,1	84,0	87,9	91,2	93,6	95,1	
Sebacylsäure	74,3	78,4	82,0	85,1	87,2	90,3	
Suberinsäure	77,4	81,6	86,0	88,6	90,8	93,4	
Succinursäure	87,4	92,3	96,8	99,8	102,1	104,9	
Thiodiglykolsäure	86,9	92,0	96,5	100,3	103,0	105,9	
α-Truxillsäure	69,6	74,2	78,1	81,1	83,5	87,3	*Bader*
γ- „	69,6	74,0	77,9	81,8	84,5	88,4	
Weinsäure	87,1	93,2	98,2	102,1	105,1	108,4	*Br. 2*
	88	—	98	—	105	108	*Wal. 3*
Natriumsalze mehrwertiger Säuren.							
Mononatriumcitrat	73	—	83	—	102	114	*Wal. 3*
Dinatriumcitrat	80	—	90	—	97	102	
Trinatriumcitrat	87	—	102	—	112	117	
Trinatrium-ψ-Akonitat	89,9	96,8	103,8	110,6	116,3	121,4	*Ostw.11a*
Trinatriumpyridintrikarbonat (1 : 2 : 3)	87,5	94,7	102,1	108,8	114,8	120,6	
Trinatriumpyridintrikarbonat (1 : 2 : 4)	87,8	94,6	101,2	107,7	113,5	119,2	
Trinatriummethylpyridintrikarbonat (1 : 2 : 4)	89,9	97,1	104,5	111,1	117,2	122,7	

Digitized by Google

$1/m = 1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Natriumsalze mehrwertiger Säuren.							
Tetranatriumpropargylentetrakarbonat	87,3	96,5	106,3	115,8	124,3	131,9	*Ostw.11a*
Tetranatriumpyridintetrakarbonat	86,1	94,7	104,2	113,0	121,6	129,2	
Pentanatriumpyridinpentakarbonat	82,8	93,2	103,7	115,3	126,5	136,2	
Mononatriummellat	183	—	234	—	297	335	*Wal. 3*
Dinatriummellat	123	—	151	—	176	188	
Trinatriummellat	106	—	133	—	159	171	
Tetranatriummellat	94	—	108	—	150	159	
Pentanatriummellat	83	—	108	—	138	150	
Hexanatriummellat	73	—	95	—	119	130	
Magnesiumsalz der							
Äpfelsäure	48,1	57,6	67,7	77,6	86,3	94,3	*Walden 1*
Ameisensäure	85,5	91,0	95,6	99,1	101,3	103,9	
Akonitsäure	40,6	45,5	50,6	55,5	60,6	65,7	
Benzolsulfosäure	71,1	75,5	79,1	82,2	84,8	87,1	
Bernsteinsäure	63,5	72,3	80,6	87,9	94,3	99,1	
Buttersäure	65,6	70,8	75,3	78,4	81,4	84,0	
Citronensäure	21,4	23,4	25,2	27,5	30,1	34,1	
Essigsäure	71,5	77,1	81,5	85,0	87,6	90,0	
Fumarsäure	72,0	80,5	88,0	95,4	101,6	107,0	
Isobuttersäure	65,4	70,6	74,8	78,0	80,8	83,2	
Itakonsäure	59,7	69,4	77,9	85,8	92,7	98,7	
Kakodylsäure	59,3	65,2	70,3	74,4	77,6	80,8	
Maleinsäure	57,2	66,5	76,1	85,2	92,8	98,6	
Malonsäure	37,4	46,1	56,7	68,2	80,2	91,1	
Mesakonsäure	67,9	76,8	82,8	89,3	95,5	100,2	
α-Nitrophtalsäure	55,7	65,0	72,5	80,2	87,0	92,8	
Pikrinsäure	66,7	71,6	75,3	78,6	81,6	84,0	
Propionsäure	68,0	73,2	77,6	81,0	84,1	86,7	
Valeriansäure	64,3	69,3	73,6	77,0	79,9	82,3	
Weinsäure	54,9	64,1	74,0	82,6	90,1	95,9	
Salze organischer N-Basen.							
Methylaminchlorhydrid	121,3	125,1	128,3	131,2	132,5	133,9	*Bredig 2*
Guanidinchlorhydrid	113,5	117,3	120,3	122,6	123,8	125,3	
Äthylaminchlorhydrid	110,1	114,1	116,8	119,2	120,8	122,3	
Dimethylaminchlorhydrid	113,7	117,4	120,5	122,8	124,3	125,7	
β-Bromäthylaminbromhydrid	104,9	108,8	112,2	114,5	116,0	117,4	
Propylaminchlorhydrid	102,9	106,6	109,8	112,1	113,5	115,0	
Isopropylaminchlorhydrid	102,8	106,6	109,7	112,0	113,5	114,8	
Allylaminchlorhydrid	104,4	108,1	111,2	113,6	115,1	116,8	
Trimethylaminchlorhydrid	109,9	114,0	117,2	119,7	121,3	122,6	
Isobutylaminchlorhydrid	98,9	102,6	105,8	108,0	109,5	111,1	
Methyläthylkarbinaminchlorhydrid	98,4	102,4	105,8	108,0	109,7	111,1	

Digitized by Google

$1/m = 1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Salze organischer N-Basen.							
Trimethylkarbinaminchlorhydrid	98,8	102,6	106,2	108,4	110,2	111,5	*Bredig* 2
Diäthylaminchlorhydrid	98,4	102,2	105,5	107,9	109,6	111,0	
Tetramethylammoniumchlorid	106,0	110,1	113,4	116,0	117,6	119,2	
Jodmethyltrimethylammoniumchlorid	99,1	103,5	107,2	109,4	111,2	112,6	
Isoamylaminchlorhydrid	96,6	100,2	103,2	105,4	106,8	108,4	
Piperidinchlorhydrid	98,4	102,2	105,3	107,5	108,9	110,5	
Methyldiäthylaminchlorhydrid	98,1	102,2	105,2	107,5	109,1	110,4	
Neurinchlorhydrid	104,1	108,1	111,8	114,0	115,7	117,3	
Trimethyläthylammoniumchlorid	102,8	106,9	110,2	112,5	114,2	115,6	
β-Chloräthyltrimethylammoniumchlorid	99,3	103,6	106,9	109,0	110,7	112,4	
β-Bromäthyltrimethylammoniumchlorid	97,9	102,4	105,9	107,9	109,7	111,3	
Dipropylaminchlorhydrid	92,1	96,2	99,3	101,6	103,6	104,8	
Triäthylaminchlorhydrid	94,5	98,8	101,9	104,2	105,8	107,2	
Pyridinchlormethylat	106,7	111,1	114,3	116,7	118,3	120,1	
Trimethylallylammoniumchlorid	100,5	104,3	108,1	110,2	111,6	112,7	
Trimethylpropylammoniumchlorid	98,3	102,5	105,7	108,1	109,6	110,8	
Dimethyldiäthylammoniumchlorid	100,4	104,4	108,0	110,3	111,8	113,3	
Benzylaminchlorhydrid	97,0	100,5	103,6	105,5	106,9	108,5	
Pyridinchloräthylat	101,2	105,5	108,5	110,6	111,9	113,4	
Pikolinchlormethylat	101,0	105,4	108,7	110,8	112,3	114,1	
Trimethylisobutyl-Ammoniumchlorid	96,0	100,0	103,3	105,5	107,0	108,3	
Methyltriäthyl-Ammoniumchlor.	96,5	100,6	103,8	106,1	107,6	109,1	
Jodmethyltriäthyl- „	92,1	96,3	100,0	102,5	104,0	105,5	
α-Lutidinchlormethylat	97,2	101,3	104,8	106,9	108,6	110,2	
α-Pikolinchloräthylat	96,9	101,1	104,4	106,9	108,5	110,2	
Koniinchlorhydrid	90,0	94,1	97,2	99,2	100,4	101,5	
Diisobutylaminchlorhydrid	88,4	92,6	95,6	97,9	100,4	101,0	
Trimethylisoamyl-Amm.-Chlorid	92,8	96,6	99,8	102,3	103,8	105,1	
Teträthyl- „ „	94,4	98,2	101,4	103,6	105,1	106,5	
Trimethylphenyl- „ „	96,4	100,5	103,8	105,9	107,5	108,7	
Tripropylamin- „ „	86,9	91,2	94,6	96,8	98,1	99,5	
Triäthylallyl- „ „	93,4	97,8	100,8	102,7	104,2	105,8	
Triäthylpropyl- „ „	91,1	95,3	98,7	101,0	102,4	103,8	
Chinolinchlormethylat	98,4	102,6	105,9	108,2	110,1	111,7	
Isochinolinchlormethylat	98,9	102,8	105,9	108,2	109,8	111,9	
Dimethyläthylphenyl-Ammon.-Chlorid	94,6	98,9	102,1	104,2	106,0	107,9	
Phenokollchlorhydrid	88,2	92,1	94,9	96,9	98,5	99,5	
Menthylaminchorhydrid	87,7	91,8	94,9	97,2	98,4	99,9	

Digitized by Google

$1/m = 1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Salze organischer N-Basen.							
Diisoamylaminchlorhydrid	85,8	89,7	93,0	95,1	96,6	98,0	*Bredig 2*
Triäthylisobutyl-Amm.-Chlorid	90,7	95,0	98,3	100,5	101,8	103,2	
Triäthylisoamyl-Amm.-Chlorid	88,0	91,9	94,9	97,5	98,9	100,3	
Trimethyl-α-Naphtyl-Ammon.-Chlorid	92,7	96,4	99,5	101,8	103,5	105,2	
Trimethyl-β-Naphtyl-Ammon.-Chlorid	92,6	96,5	99,6	101,5	103,0	104,7	
Morphinchlorhydrid	83,9	88,3	91,7	93,9	95,4	97,1	
Kokaïnchlorhydrid	85,3	89,2	92,5	94,8	96,2	98,1	
Rechtskokaïnchlorhydrid	84,4	88,7	91,9	94,4	95,9	97,2	
Morphinchlormethylat	84,7	89,0	92,7	95,1	96,7	98,1	
Kodeïnchlorhydrid	83,8	88,5	92,1	94,1	96,1	97,4	
Akonitinchlorhydrid	77,5	81,7	85,1	87,3	88,6	89,8	
Salze organischer P-Basen.							
Tetramethyl-Phosphoniumchlorid	101,6	105,7	109,2	111,8	113,4	114,9	
Teträthyl-Phosph.-Chlorid	92,2	96,2	99,7	102,1	104,0	105,2	
Metyltriphenyl-Phosphon.-Chlorid	85,8	89,9	92,9	94,9	96,2	97,7	
Äthyltriphenyl-Phosph.-Chlorid	85,2	89,2	92,0	94,4	95,4	96,9	
Propyltriphenyl-Phosph.-Chlorid	84,1	88,4	91,5	93,6	95,0	95,2	
Isoamyltriphenyl-Phosph.-Chlorid	82,5	86,9	89,7	91,7	93,2	94,7	
Triphenylbenzyl-Phosph.-Chlorid	83,8	88,3	91,1	93,3	94,3	95,5	
Tetrabenzyl-Phosphon.-Chlorid	—	—	—	unlöslich	94,3	95,9	
Salze organischer As-Basen.							
Tetramethyl-Arsonium-Chlorid	100,2	104,4	108,0	110,1	111,7	112,9	
Teträthyl-Arson.-Chlorid	91,5	95,8	99,1	101,5	102,7	104,3	
Salze organischer Sb-Basen.							
Tetramethyl-Stibonium-Chlorid	93,9	98,2	101,3	103,8	105,3	106,9	
Teträthyl-Stibon.-Chlorid	89,1	93,3	96,3	98,7	100,4	101,8	
Sulfinsalze.							
Trimethyl-Sulfinchlorid	108,3	112,7	116,2	119,0	121,2	122,7	
Triäthyl- „	96,0	100,2	103,6	106,1	107,5	109,4	

Digitized by Google

$1/m = 1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Tellurinsalze.							
Trimethyl-Tellurinchlorid	98,0	102,7	106,5	109,0	110,9	112,5	Bredig 2
Triäthyl- „	98,5	98,0	101,8	104,5	105,9	107,2	
Basische Salze zweiwertiger Basen.*)							
Hydrazin-Monochlorhydrid	119,3	122,6	126,0	129,3	131,1	133,8	
Äthylendiamin- „	105,2	109,0	(113,4)	(120,3)	(130,5)	(153,2)	
Cinchonin- „	unlöslich	87,8	91,3	93,9	95,9	97,3	
Cinchonidin- „	82,3	87,1	90,7	93,4	95,4	97,5	
Chinin- „	81,1	86,1	89,8	92,0	93,6	95,3	
Strychnin- „	84,5	89,0	92,7	95,1	96,8	98,3	
Brucin- „	80,8	86,1	89,8	92,3	93,8	95,4	
Strychninchloräthylat ...	83,2	88,2	91,9	94,4	96,1	97,9	
Strychninbromäthylium-chlorid	84,1	88,9	92,5	94,7	96,3	97,2	
Brucinchloräthylat	80,6	86,2	90,1	93,1	95,1	97,1	
Brucinbromäthyliumchlor.	80,3	86,4	90,3	93,2	95,2	97,9	
Brucinchlorisoamylat	unlöslich	85,4	89,7	92,4	94,4	96,1	
Hydrolytisch spaltbare Chlorhydride einwertiger Basen.							
Pyridin-Chlorhydrid	—	111,4	114,0	116,2	—	—	
Anilin- „	—	102,7	105,2	107,3	—	—	
α-Pikolin- „	—	105,3	109,0	—	—	—	
Dimethylpyridin-Chlorhydrid.....	—	102,2	105,7	109,7	—	—	
Äthylpyridin-Chlorhydrid	—	102,8	106,0	109,4	—	—	
Methylanilin- „	—	101,6	104,3	106,4	—	—	
o-Toluidin- „	—	100,5	102,8	104,2	—	—	
m- „ „	—	99,3	102,0	104,1	—	—	
p- „ „	—	99,5	102,1	104,2	—	—	
Asymmetr. m-Xylidin-Chlorhydrid.....	—	96,2	99,0	101,0	—	—	
Äthylanilin-Chlorhydrid .	—	96,7	99,4	101,8	—	—	
Dimethylanilin- „ .	—	100,1	103,0	105,2	—	—	
Kollidin- „ .	—	100,7	104,4	—	—	—	
Isochinolin- „ .	—	101,9	104,0	107,1	—	—	
Chinolin- „ .	—	102,3	104,1	106,1	—	—	
ψ-Kumidin- „ .	—	95,3	98,2	100,3	—	—	
Methyläthylanilin-Chlorhydrid.....	—	96,5	99,4	101,5	—	—	
Chinaldin-Chlorhydrid ..	—	96,7	99,1	101,9	—	—	
Lepidin- „ ..	—	98,4	100,4	102,6	—	—	
Diäthylanilin- „ ..	—	94,0	97,3	100,4	—	—	
Hydroxylamin- „ ..	(113,4)	(116,1)	—	—	—	—	

*) Die Leitvermögen beziehen sich auf Äquivalente des Cl-Jons, also auf das Molekül.

Digitized by Google

$1/m = 1/(10^3\eta) = v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	Beobachter
Imidartige Verbindungen.							
Natriumacetylcyanamid	79,6	82,4	84,6	86,2	87,5	88,9	*Bredig 2*
Natrium-Cyanamido-Kohlensäureäther	75,3	78,1	80,7	82,4	83,6	85,0	
Kalium-Cyanamido-Kohlensäureäther	96,5	99,2	101,6	103,7	105,1	106,7	
Natriumbenzoylcyanamid	71,5	74,0	76,6	78,0	79,3	80,6	
Stickstoffammonium	126,5	129,9	132,8	134,7	135,9	137,1	
Stickstoffnatrium	—	106,2	109,4	111,6	112,7	113,2	
Dichlorhydride zweiwertiger organischer Basen.							
Äthylendiamin-Dichlorhydrid	126,9	134,3	139,4	143,9	147,4	149,8	
Trimethylendiamin-Dichlorhydrid	120,9	127,9	133,6	138,3	141,3	144,1	
β-Chlortrimethylendiamin-Dichlorhydrid	114,4	121,0	126,4	131,0	134,4	136,7	
Tetramethylendiamin-Dichlorhydrid	116,4	122,5	127,8	132,8	135,9	139,0	
Piperazin-Dichlorhydrid	124,1	(131,4)	(138,8)	(145,0)	(149,8)	(155,4)	
Pentamethylendiamin-Dichlorhydrid	112,3	118,5	123,8	128,3	131,7	134,6	
β-Methyltetramethylendiamin-Dichlorhydrid	111,9	118,0	123,4	128,0	131,4	134,4	
Äthylenhexaphenyldiphosphonium-Dichlorhydrid	86,0	91,7	96,3	100,0	102,8	104,9	

Digitized by Google

5. Molekulares Leitvermögen organischer Säuren. 25°.

Die kursiv gesetzten Werte des Leitvermögens gelten nicht für die am Kopfe stehenden Verdünnungen $v = 32, 64 \ldots$, sondern für $C \cdot v$. Die Werte von C s. in der Anm. †. Über die Bedeutung von K s. S. 103 und Bemerkungen S. 144.

$v = 10^{-3} \varphi =$ 32	64	128	256	512	1024	2048	K
Ostwald (12. 1889.)							
m-Acetamidobenzoës. . .	—	—	—	51,1	70,1	94,6	—	0,0085
o- „	—	—	59,4	81,0	109,5	143,5	—	,0236
p- „	—	—	—	40,4	56,0	76,5	—	,0052
m-Acetoxybenzoësäure	—	—	—	54,9	75,0	101,5	134,5	,0099
o- „	—	51,6	70,0	94,5	124,9	161,5	—	,0333
p- „	—	19,0	26,7	37,1	51,2	68,6	—	,0042
Acetursäure*[1])	31,1	43,1	59,3	80,4	108	142	—	,0230
Akrylsäure*[2])	15,7	21,6	30,2	41,7	57,1	77,8	—	,0056
Adipinsäure	12,7	17,8	25,0	34,7	48,2	66,2	—	,0037
Äpfelsäure	40,4	56,6	76,2	102,7	136,6	177,5	227,0	,0395
Äthylglykolsäure*[3])	31,4	43,6	59,7	81,3	110	143	—	,0234
Äthylmalonsäure*[4])	68,8	92,7	123	159	200	244	—	,127
Ameisensäure[5])	31,2	43,2	59,2	80,6	108,8	143,6	—	,0214
m-Amidobenzoësäure . .	—	23,6	33,5	47,3	70,8	94,1	—	—
o- „	—	7,7	11,4	17,2	25,1	35,7	—	—
p- „	—	8,0	11,6	17,5	25,9	37,3	—	—
m-Amidobenzolsulfos. . .	—	38,9	54,0	75,4	100,6	131,6	—	,0185
o- „	—	139,0	178,9	222,6	266,4	305,8	—	,33
p- „	48,5	66,5	90,4	121,0	158,0	201,0	—	,0581
Angelikasäure	14,9	20,7	29,2	40,4	55,9	76,6	103,6	,0050
Anissäure	—	—	—	—	45,5	61,9	—	,0032
Atropasäure	—	—	48,8	65,0	88,4	118,8	155,3	,0143
Benzalmalonsäure	113,7	149,6	190,4	234,4	276,6	313,5	342,3	,408
Benzoësäure		22,8	31,7	45,0	61,4	84,2	—	,0060
Bernsteinsäure[6])	17,1	23,9	33,3	46,4	63,4	87,0	116,7	,0066
Brenzschleimsäure[7]) . . .	53,8	73,6	99,4	120,4	169,2	215,3	—	,0707
Brenzweinsäure	19,4	27,1	37,6	52,0	71,0	96,3	129,1	,0086
Bromamidobenzolsulfonsäure (1:2:5)†[8]) . . .	—	—	*313*	*318*	*334*	*343*	—	1,67
Bromamidobenzolsulfonsäure (1:3:6)	—	74,6	98,4	130,6	167,8	210,5	—	0,072
m-Brombenzoësäure . . .	—	—	—		88,1	118,0	—	,0137
o- „ . . .	—	—	132,7	171,2	214,7	258,2	—	,145
Bromdiamido-p-Sulfotoluolsäure†[9])	—	—	*53,7*	*72,8*	*98,7*	*130,1*	—	,0172
Bromnitrobenzoësäure . .	—	—	272	306	332	346	—	1,4
α-Bromzimmtsäure†[10]) .	—	—	*262*	*298*	*329*	*351*	—	1,44
β-Bromzimmtsäure†[11]) .	—	—	—	*175,9*	*218,2*	*262,4*	—	0,093
Buttersäure[12])	8,2	11,6	16,3	22,7	31,5	43,3	—	,0015

Für $v = 8$ ist $\Lambda =$ [2]) 8,0. [5]) 16,2. [13]) 4,05.
Für $v = 16$ ist $\Lambda =$ [1]) 22,3. [2]) 11,3. [3]) 22,5. [4]) 50,3. [5]) 22,6. [6]) 12,2. [7]) 38,5. [12]) 5,83.
†$C =$ [8]) 1,71. [9]) 1,06. [10]) 0,87. [11]) 1,72.
*) Ältere ungenauere Werte.

Digitized by Google

$v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	2048	K
Ostwald (12. 1889.)								
Chinaldinsäure	—	—	14,8	20,4	27,7	37,1	—	0,0012
Chininsäure	—	—	—	18,2	24,7	33,5	—	,0009
Chinolinsäure	—	133,8	172,9	216,3	257,7	294,4	320,1	,3
m-Chlorbenzoësäure	—	—	—	68,5	92,7	123,9	—	,155
o- „	—	95,1	127,3	166,4	210,0	254,4	—	,132
p- „	—	—	—	—	—	—	133	,0093
α-Chlorkrotonsäure[1]	53,0	72,9	98,7	132,7	172,3	217,1	—	,072
β- „ [2]	24,9	34,9	48,1	66,3	90,3	121,5	—	,0144
α-Chlorisokrotonsäure[3]	76,3	102,8	136,4	176,9	222,0	267,2	—	,158
β- „ [4]	20,3	28,4	39,6	54,9	75,4	102,0	—	,0095
o-Chloroxanilsäure	204,6	248,5	287,8	322,4	344,3	356,8	—	2,0
p- „	—	—	—	304,7	333,2	351,8	—	1,4
Chlorphtalsäure	—	276	321	368	418	475	539	2,5
m-Chlorsuccinanilsäure	—	—	18,5	26,4	37,0	50,3	—	,0021
o- „	—	—	18,9	26,3	36,8	50,8	—	,0021
p- „	—	—	18,4	26,3	37,0	51,0	—	,0021
Cinchomeronsäure	—	—	152,5	193,9	238,0	279,8	313,0	,21
Cinchoninsäure	—	10,6	14,8	20,7	28,8	39,7	—	,0013
Citrakonsäure †[5]	—	*143,9*	*183,5*	*228,1*	*269,9*	*307,0*	*336,1*	,34
m-Cyanbenzoësäure †[6]	—	—	*56,4*	*77,5*	*104,9*	*138,1*	—	,0199
Cyanessigsäure[7]	112,3	148,3	188,0	233,5	278,1	316,9	—	,37
Dehydracetsäure †[8]	—	—	*9,4*	*13,1*	*18,4*	*25,9*	—	,0005
Diamidobenzolsulfos. †[9]	*15,7*	*23,0*	*32,9*	*46,4*	*63,7*	*86,6*	—	,005
Diamido-p-Sulfotoluolsäure †[10]	—	*18,9*	*26,7*	*37,6*	*52,4*	*71,8*	—	,0047
α-Diäthylenbernsteins.*	37,2	51,4	70,1	94,1	123,4	155,9	187,9	,034
p- „ *	31,7	43,9	61,1	82,1	109,0	141,6	176,5	,024
Diäthylprotokatechus.	—	—	—	—	—	63,2	—	,0034
Dibromamidobenzolsulfosäure (1:2:3:5) †[11]	—	—	*360*	*366*	*369*	*371*	—	—
Dibromamidobenzolsulfosäure (1:3:4:6) †[12]	—	*279*	*308*	*334*	*351*	*362*	—	—
Dibromgallussäure	173,0	214,3	259,2	299,5	333,9	359,9	—	1,21
Dichloressigsäure	269,8	309,9	338,4	359,2	375,4	383,8	—	5,1
Diglykolsäure	—	87,4	118,3	155,2	201,5	255,4	312,7	0,1
Dimethylmalonsäure* [13]	55,0	75,2	101,4	134	173	217	—	,077
αα′-Dimethylpyridindikarbonsäure	—	—	179,6	223,7	269,6	307,5	326,6	,34
αγ-Dimethylpyridindikarbonsäure	—	—	210	253	289	316	330	,55
Dinitrokapronsäure	—	—	96,8	127,5	165,4	208,1	252,1	,069
Dioxybenzoësäure,symm. (1:3:5)	19,9	27,8	38,4	53,7	74,2	100,7	—	,0091
Dipyridylmonokarbons.	—	10,9	16,4	24,6	35,7	49,8	—	,002
Dipyridyldikarbonsäure	—	—	67,2	92,9	124,7	160,8	199,9	,032

Für $v = 16$ ist $\Lambda =$ [1]) 38,1. [2]) 17,8. [3]) 55,7. [4]) 14,4. [7]) 84,0. [13]) 39,7.
†$C =$ [5]) 1,07. [6]) 1,04. [8]) 0,93. [9]) 1,36. [10]) 0,94. [11]) 0,86. [12]) 1,12.

Digitized by Google

$v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	2048	K
Ostwald (12. 1889.)								
Dithiodiglykolsäure	52,5	72,4	99,0	133,8	175,8	229,8	290,9	0,065
Essigsäure [1])	9,2	12,9	18,1	25,4	34,3	49,0	—	,0018
m-Fluorbenzoësäure ...	—	33,6	46,5	64,6	89,4	118,8	—	,014
Fumarsäure	60,1	82,5	111,4	148,2	191,3	243,0	298,7	,09
Gallussäure	12,5	17,9	25,5	36,1	50,9	70,9	—	,004
Glutarsäure	—	20,3	28,2	39,2	54,4	74,6	—	,0047
Glycerinsäure* [2])	31,1	43,2	59,5	81,0	109	144	—	,023
Glykolsäure	26,4	36,6	50,6	69,1	93,8	124,4	—	,015
Glyoxalsäure* [3])	44,5	61,1	82,9	111	145	185	—	,047
Hemipinsäure	—	98,7	130,8	167,0	208,3	252,6	293,8	,14
Hippursäure	30,1	42,0	57,9	78,9	106,4	139,8	—	,0222
Hydratropasäure	—	19,0	26,8	37,3	52,1	71,0	—	,0042
Hydroparakumarsäure ..	—	—	17,3	24,2	33,7	46,3	—	,0017
Hydrosorbinsäure	10,4	14,6	20,6	28,8	39,9	54,5	—	,0024
Hydrozimmtsäure	—	14,0	19,7	27,5	38,3	52,3	—	,0023
Isobuttersäure [4])	8,0	11,4	15,9	22,2	30,8	42,6	—	,0014
Isocinchomeronsäure ...	—	—	195,0	237,5	278,7	313,2	335,7	,43
Isokrotonsäure [5])	12,0	16,5	22,7	31,2	43,1	59,1	—	,0036
Isodehydracetsäure †[6]) ..	—	*165,9*	*207,1*	*253,1*	*291,2*	*325,2*	—	,52
Isonikotinsäure	—	—	13,9	19,6	27,5	37,8	—	,0011
Isovanillinsäure	—	—	—	32,8	45,1	61,7	—	,0032
Itakonsäure †[7])	*19,0*	*26,8*	*37,1*	*51,2*	*69,2*	*93,1*	*123,6*	,012
β-Jodpropionsäure [8]) ...	19,8	27,6	38,3	52,6	71,7	96,7	—	,009
Kampferkohlensäure ...	—	37,3	51,9	71,2	96,2	127,5	—	,0174
Kamphersäure	—	13,9	19,4	27,3	38,2	52,5	71,8	,0022
Kampholsäure	—	—	—	—		25,1	32,8	,0004
Kamphoronsäure	27,0	37,5	52,1	71,5	97,0	129,3	168,4	,0175
Kapronsäure	7,9	11,3	15,9	22,3	30,9	43,0	—	,0014
Karbaminthioglykols. [9])	32,5	45,4	62,2	84,6	113,0	145,8	—	,0246
Korksäure	—	14,9	20,8	29,0	40,9	55,8	—	,0026
Krotonsäure [10])	9,5	13,4	18,9	26,6	36,9	50,7	—	,0020
o-Kumarsäure	—	—	—	27,9	37,1	51,4	—	,0021
p- „	—	—	19,3	26,9	37,1	51,1	—	,0021
Kuminsäure	—	—	—	—	55,6	75,6	—	,0050
Lävulinsäure [11])	10,6	14,8	20,8	29,1	40,4	56,0	—	,0025
Lutidinsäure	—	—	216,5	259,1	296,0	324,8	344,1	,60
Malëinsäure	179	219	261	301	333	353	373	1,2
Malonanilsäure	—	39,6	55,0	74,2	100,6	134,6	—	0,0196
Malonsäure [12])	77,1	103,6	137,0	176,8	222,6	269,9	313,9	,158
Mandelsäure	41,1	56,7	77,4	104,5	138,1	178,5	—	,0417
Mesakonsäure †[13])	*67,2*	*90,6*	*121,1*	*158,3*	*202,1*	*250,9*	*297,5*	,079
Methyläthylakryls. †[14]) ..	*7,7*	*10,9*	*15,3*	*21,4*	*29,1*	*40,8*	—	,0011
Methylglykolsäure* [15]) ..	37,5	51,8	69,8	93,9	125	161	—	,033
Methylmalonsäure* [16]) ..	58,4	79,1	106,1	140	179	223	—	,087

Für $v = 8$ ist $\Lambda =$ [1]) 4,63. [5]) 6,3. [9]) 16,6.
Für $v = 16$ ist $\Lambda =$ [1]) 6,50. [2]) 22,3. [3]) 32,2. [4]) 5,7. [5]) 8,7. [6]) 14,2. [9]) 23,5. [10]) 6,7. [11]) 7,5. [12]) 56,6. [15]) 27,0. [16]) 42,4.
† $C =$ [6]) 1,02. [7]) 0,695. [13]) 1,50. [14]) 1,19.

Digitized by Google

$v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	2048	K
Ostwald (12. 1889.)								
α-Methylpyridindikarbonsäure	—	—	147,8	189,5	236,2	281,8	308,0	0,20
Methylsalicylsäure	18,7	26,5	37,1	51,0	69,4	92,6	—	,0081
Milchsäure[1]	24,6	34,3	47,4	64,2	87,6	116,9	—	,0138
Monobromessigsäure	73,2	98,4	130,4	168,4	212,4	257,1	—	,138
Monobromgallussäure	—	66,5	89,5	120,2	157,8	200,4	—	,059
Monochloressigsäure[2]	77,2	103,2	136,1	174,8	219,4	265,7	—	,155
Mononitrokapronsäure	—	31,9	44,3	60,4	81,7	109,3	144,1	,0123
Nikotinsäure	—	—	15,6	22,2	31,0	42,5	—	,0014
m-Nitrobenzoësäure	—	51,9	72,0	96,9	129,7	168,0	—	,0345
o- „	—	—	218,8	262,3	302,0	332,9	—	,62
p- „	—	—	—	103,4	136,2	175,6	—	,040
o-Nitrophenylglykols.	—	101,3	134,2	173,6	217,5	260,7	—	,158
p- „	—	—	133,9	172,2	214,4	257,5	—	,153
o-Nitrophenylpropiols.	—	—	—	290	321	343	—	1,06
α-Nitrophtalsäure*[3]	175	216	260	302	335	365	391	1,22
β- „ *[4]	132	173	216	260	301	336	370	0,6
o-Nitrosalicylsäure	—	—	277	312	338	357	—	1,57
p- „	—	—	—	285	320	343	—	0,89
Opiansäure	—	—	106,5	140,7	181,3	226,5	—	,088
Oxalsäure	285	319	345	369	388	408	436	—
p-Oxaltoluidsäure	—	—	238,2	280,4	311,6	335,6	—	,88
Oxalursäure	—	303	332	352	365	373	—	4,5
Oxaminsäure	156,1	195,6	241,1	283,0	320,0	348,6	—	0,80
Oxanilsäure	171,8	213,7	257,7	298,1	328,5	344,0	—	1,21
m-Oxybenzoësäure	19,4	27,4	38,1	52,6	72,4	97,7	—	0,0087
p- „	11,3	15,8	22,4	31,3	43,6	60,0	—	,0029
Oxycinchomeronsäure	—	—	281	316	341	359	370	1,7
Oxyisobuttersäure	21,4	29,9	41,4	57,5	78,3	106,1	—	0,0106
α-Oxykamphoronsäure	—	136,0	174,7	218,2	263,0	305,1	341,1	,32
β- „	—	177,4	219,8	262,3	302,1	337,7	366,9	,65
Oxymenthylsäure†[5]	*11,9*	*15,5*	*21,7*	*30,4*	*42,3*	*58,5*	—	,0021
α-Oxypikolinsäure	—	—	10,2	14,1	19,5	26,8	—	,0005
β-Oxypropionsäure*[6]	11,8	16,7	23,3	32,5	45,1	61,6	—	,0031
Oxysalicylsäure (1:2:3)	—	89,7	119,9	156,7	199,3	245,2	288,2	,114
„ (1:2:5)	—	85,8	116,1	153,2	195,8	242,1	287,2	,108
Oxyterephtalsäure	—	—		211,6	259,0	309,7	361,7	,25
Papaverinsäure	—	—		289,4	325,1	361,0	402,4	,9
Paraorsellinsäure	—	—	327	352	368	378	—	4,1
Phenylamidoessigsäure	13,1	18,1	25,0	35,1	49,4	67,7	—	0,0039
Phenylglykolsäure	54,6	74,1	100,4	132,8	171,3	215,5	—	,076
Phenyllutidindikarbonsäure	—	—	—	—	82,0	108,1	142,9	,012
Phenylpropiolsäure†[7]	—	*169,0*	*209,6*	*253,5*	*292,9*	*325,7*	—	,59

Für $v = 8$ ist $\Lambda =$ [1]) 12,4.
Für $v = 16$ ist $\Lambda =$ [1]) 17,5. [2]) 56,6. [3]) 133. [4]) 96,7. [6]) 8,4.
†$C =$ [5]) 1,33. [7]) 0,94.

Digitized by Google

$v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	2048	K
Ostwald (12. 1889.)								
α-Phenylpyridindikarbonsäure	—	—	42,9	61,5	86,1	117,6	153,5	0,012
β-Phenylpyridindikarbonsäure	—	29,0	41,1	57,5	79,4	107,6	141,2	,011
Phloretinsäure	—	13,3	18,9	26,2	36,3	49,8	—	,0020
Phloroglucinkarbonsäure (1 : 2 : 4 : 6)	207	250	287	316	336	351	—	2,1
Phtalamidoessigsäure	—	29,4	111,1	149,2	190,3	234,5	—	0,100
Phtalaminsäure	25,8	36,2	50,2	69,1	93,9	124,3	—	,0160
m-Phtalsäure*	—	—	—	—	119	157	203	,029
o- „	—	91,6	121,7	158,6	201,8	247,4	292,9	,121
Phtalursäure	—	47,2	65,5	88,9	119,1	154,6	—	,0290
Pikolinsäure	—	7,0	9,4	12,8	17,2	23,1	—	,0003
Pimelinsäure	—	17,5	24,5	34,0	47,1	64,9	—	,0036
Propionsäure [1]	7,8	11,1	15,5	21,7	30,1	41,3	—	,0013
Protokatechus. (1 : 3 : 4)	11,3	16,1	22,8	32,3	45,0	63,2	—	,0033
o-Pyridinbenzoësäure	—	—	8,1	11,6	17,1	24,8	—	,0005
ββ′-Pyridindikarbons.	—	—	—	172,0	216,6	261,3	299,8	,15
Pyrogallolkarbonsäure (1 : 2 : 3 : 4)	—	62,7	86,2	116,7	154,7	199,2	—	,055
α-Resorcylsäure (1 : 2 : 4)	—	62,5	85,6	115,4	151,9	194,7	—	,0515
β- „ (1 : 2 : 6)	—	304	328	348	360	370	—	5,0
Rhodanessigsäure	97,4	130,1	166,9	210,4	254,8	296,1	—	0,26
Salicylsäure	—	85,4	115,0	151,3	193,7	238,9	—	,102
Sebacinsäure	—	—	—	28,0	38,5	53,4	—	,0023
Senfölessigsäure [2]	1,6	—	—	—	—	—	—	,00002
Sorbinsäure	—	—	17,3	24,3	34,0	47,2	—	,0017
Succinanilsäure	—	13,0	18,4	26,2	36,5	50,4	—	,0020
Succinthionursäure	16,8	23,7	33,2	46,3	63,4	—	—	,0033
o-Succintoluidsäure	—	13,1	18,6	26,4	36,8	50,4	—	,0021
p- „	—	—	—	25,3	35,4	48,9	—	,0019
Succinursäure	—	16,2	23,0	32,2	44,6	61,2	—	,0031
Tartronsäure	64,2	87,3	116,9	153,5	198,3	249,7	303,8	,107
Terebinsäure	33,0	45,7	63,1	85,4	113,8	148,0	—	,0265
Tetrolsäure	94,4	126,0	163,8	206,2	251,2	294,0	328,9	,246
Thiacetsäure [3]	44,8	62,3	85,1	112,8	148,3	188,5	—	,047
Thiodiglykolsäure	44,7	62,0	85,4	115,8	154,6	202,5	259,7	,048
Thioglykolsäure [4]	31,3	43,4	59,6	80,9	108,0	141,4	—	,0225
α-Thiophensäure	—	50,0	68,4	92,4	122,7	160,1	—	,0302
Tiglinsäure	6,5	9,2	13,0	18,3	25,6	35,5	—	,001
Toluidinsulfons. (1 : 3 : 4)	—	45,1	60,5	82,3	111,5	146,6	—	,0236
m- „	—	—	72,8	97,9	130,2	168,9	—	,0357
o- „ [5]	54,0	74,5	100,1	133,4	172,3	216,4	—	,075
p- „	—	76,1	101,8	128,6	173,9	217,3	—	,078
α-Toluylsäure	15,8	21,9	30,7	42,8	58,4	81,0	—	,0056

Für $v = 8$ ist $\Lambda =$ [1]) 3,9. [2]) 0,54.
Für $v = 16$ ist $\Lambda =$ [1]) 5,5. [2]) 0,78. [3]) 32,1. [4]) 22,3. [5]) 39,1.

Digitized by Google

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

$v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	2048	K
Ostwald (18. 1889.)								
m-Toluylsäure	—	—	29,2	41,1	57,0	77,3	—	0,0051
o- „	—	—	44,1	60,8	82,6	110,2	—	,0120
p- „	—	—	—	41,3	56,3	77,4	—	,0051
Traubensäure	61,4	83,6	113,0	149,6	194,5	247,4	307,0	,097
Trichlorbuttersäure	307,4	329,1	344,1	355,3	362,1	365,7	—	—
Trichloressigsäure	344,3	354,8	363,5	371,4	377,0	379,5	—	—
Trichlormilchsäure	122,7	159,8	199,3	254,1	283,5	322,1	—	,46
Tropasäure	—	25,1	35,0	48,7	66,4	89,4	—	,0075
Umbellsäure	—	—	18,0	25,2	34,7	47,9	—	,0019
Valeriansäure*	8,5	11,9	16,7	23,3	32,4	44,7	—	,0016
Vanillinsäure	—	16,0	22,4	31,4	44,3	60,4	—	,0030
Veratrumsäure	—	—	—	34,5	47,7	65,7	—	,0036
l-Weinsäure	61,4	83,6	112,6	149,8	195,3	249,5	308,6	,097
r-Weinsäure [1])	61,4	83,9	113,2	150,8	196,7	251,6	310,3	,097
Xylidinsulfons. (1:4:2:5)	—	59,1	78,8	108,1	139,4	181,3	—	,044
Zimmtsäure	—	—	—	34,3	47,4	65,4	—	,0035

$v = 10^{-3}\varphi =$	16	32	64	128	256	512	1024	K
Walden (3. 1891.)								
Malonsäuren.								
Malonsäure	57,0	78,0	104,9	138,7	178,0	222,0	268	0,163
Methylmalonsäure	42,1	58,2	79,3	106,8	140,9	180,6	—	,086
Äthylmalonsäure	—	69,6	94,2	125,7	162,7	205	252	,127
Propylmalonsäure	—	65,6	89,6	119,3	156,5	198,7	246	,112
Isopropylmalonsäure	—	69,4	94,3	125,4	163,9	206,1	253	,127
Butylmalonsäure	—	63,0	85,7	114,5	149	190	233	,103
Isobutylmalonsäure	—	59,2	80,9	108,7	143,4	184	229	,090
Allylmalonsäure	—	75,8	102,0	135,3	174,4	219	266	,154
Benzylmalonsäure	—	74,6	100,8	134,1	172,5	215	260	,151
Dimethylmalonsäure	—	54,8	75,2	101,7	134,6	174,3	218,5	,076
Äthylmethylmalonsäure	—	76,8	103,7	138	176	220	265	,161
Diäthylmalonsäure	—	145,1	185,7	228	270	306	334	,74
Diallylmalonsäure	—	145,4	186,0	227,9	272	306	335	,76
Benzyläthylmalonsäure	—	183,4	227,9	270,3	306,9	334	355	1,46
Dibenzylmalonsäure	—	—	—	323	344	360	373	4
Chlormalonsäure	—	252	294	329	363	400	439	4
Benzyltartronsäure †[2])	—	—	*174*	*219*	*263*	*300*	*334*	0,55
Bernsteinsäuren.								
Bernsteinsäureanhydrid	12,3	17,3	24,3	33,7	47,1	64,3	89,4	,0068
Methyl-Bernsteinsäure	13,7	19,3	27,0	37,7	51,7	71,1	—	,0086
Äthyl- „	—	19,2	26,8	37,5	51,7	71,1	96,3	,0085
Propyl- „	—	19,4	27,2	37,7	51,8	70,5	—	,0088
Isopropyl- „	—	—	25,2	34,9	48,6	66,2	90,3	,0075
Isobutyl- „	—	19,4	27,2	37,8	52,2	71,2	96,7	,0088

Für $v = 16$ ist $\Lambda =$ [1]) 44,3.
$\dagger C =$ [2]) 1,13.

Digitized by Google

$v = 10^{-3}\varphi =$	16	32	64	128	256	512	1024	K
Walden (3. 1891.)								
Allyl-Bernsteinsäure	—	21,7	30,0	41,7	57,2	77,8	105,1	0,0109
Benzyl- „	—	—	27,4	38,4	53,0	72,2	—	,0091
As. Dimethyl- „	—	18,5	26,0	36,3	49,8	67,9	—	,0080
Symm. Antidimethyl-Bernsteinsäure	—	22,7	32,0	44,5	61,1	82,7	109,3	,0123
Symm. p-Dimethylbernsteins.	—	28,1	39,5	54,6	74,3	99,9	131,2	,0191
p-Diäthyl-Bernsteinsäure ..	—	31,7	44,0	61,3	82,3	109,4	142,2	,0245
Antidiäthylmethyl- „ ..	—	37,3	51,5	70,3	94,4	123,8	156,3	,034
m-Äthylmethyl- „ .	—	29,0	40,4	55,6	76,1	101,8	—	,0201
p- „ „ ..	—	29,4	40,9	56,5	76,8	103,5	135,1	,0207
p-Allyläthyl- „ ..	—	33,1	46,1	63,2	85,4	112,6	145,2	,0269
m- „ „ ..	27,1	38,1	52,6	71,3	95,2	124,3	—	,0359
m-Benzylmethyl- „ ..	—	31,7	44,2	61,1	82,8	110,6	—	,0247
p- „ „ ..	—	29,7	41,6	57,7	78,7	105,9	—	,0219
p-Benzyläthyl- „ ..	—	—	45,3	62,8	84,8	113,4	146,9	,0262
m- „ „ ..	—	40,6	56,2	76,6	103,3	135,7	—	,0414
Diäthyl- „ ..	—	39,4	54,5	74,6	100,8	132,4	171	,0386
p-Weinsäure [1]	44,6	61,8	84,5	113,9	150,3	196,0	247,9	,097
Anti- „	35,6	49,2	68,3	92,2	122,7	160,6	203,5	,060
r- „ [2]	44,6	61,8	84,5	113,9	150,3	196,3	248,0	,097
l- „	44,4	61,9	84,6	113,9	150,3	194,8	248,0	,097
Diacetyl-Weinsäureanhydrid	—	229	289	345	408	478	553	—
Dibenzoyl-Weinsäure† [3]) ...	—	—	—	—	*258*	*305*	*360*	—
Methyl- „	—	42,6	58,8	79,0	105,8	137,9	174	,046
Trimethyl-Bernsteinsäure ..	—	35,3	49,2	67,4	91,5	121,3	158	,0307
Äthyldimethyl- „ ..	—	46,7	64,6	87,7	117,6	153,4	196	,0556
Propyldimethyl- „ ..	—	—	63,9	86,9	116,9	153	196	,0551
Benzyldimethyl- „ ..	—	—	58,8	80,2	107,8	142,3	—	,0455
Monochlor-Bernsteinsäure ..	—	98,5	131,5	169,7	214	263	314	,28
Monobrom- „ ..	—	97,8	130,8	168,4	213	262	314	,28
p-Dibrom- „ ..	—	263	327	392	458	532	610	—
Monobrom-Brenzweinsäure .	—	—	160	203	250	296	344	,48
H-Äthylbrom-Bernsteinsäure	—	128,4	167,3	211	257	305	353	,54
N- „ „	—	116,5	152,2	194,3	241,2	282	332	,423
Asparaginsäure	—	17,2	25,9	39,3	58,0	83,6	117	—
Asparagin	0,58	0,7	1,0	1,4	—	—	—	—
Succinimid	0,42	0,5	0,6	—	—	—	—	—
Glutar- und Pimelinsäuren.								
α-Methyl-Glutarsäure	—	15,0	21,0	29,1	40,1	55,8	—	,0052
β- „ „	—	16,0	22,7	31,7	44,7	62,3	—	,0059
m-Symm. Dimethyl-Glutars.	—	15,4	21,4	30,0	41,2	56,4	—	,0055
p-Dimethyl-Glutarsäure ..	—	15,3	21,6	30,4	42,6	59,6	82,8	,0055
Äthylmethyl-Glutarsäure ...	—	15,3	21,6	30,4	42,1	58,2	78,3	0,0056

Für $v = 8$ ist $\Lambda =$ [1]) 32,0. [2]) 32,2.
†$C =$ [3]) 1,17.

Digitized by Google

$v = 10^{-3}\varphi =$	16	32	64	128	256	512	1024	K
Walden (3. 1891.)								
Glutaminsäure (inaktiv)....	—	10,3	15,3	23,2	34,7	51,6	74,7	—
„ (rechtsdrehend)	—	10,2	15,1	23,1	34,7	51,5	74,3	—
Pimelins. von Schorlemmer.	—	10,9	15,9	22,4	31,9	44,9	64,3	,0032
„ „ Perkin	—	12,2	17,2	24,2	33,6	47,1	65,1	,0034
Pimelinsäure von Hell (aus Ricinusöl)	—	12,3	17,3	24,2	33,8	47,1	65,3	,0035
β-Pimelinsäure von Arth (aus Menthol)	—	13,5	18,9	26,4	37,0	52,4	72,0	,0042
Pimelinsäure von Bauer (aus Amylenbromid)	—	20,2	28,5	39,6	54,9	75,6	102,9	,0097
Pimelinsäure von Hell (aus Amylenbromid)	—	19,7	27,3	38,2	52,4	71,2	94,6	,0091
Ungesättigte Dikarbonsäuren.								
Mesakonsäure	—	55,7	76,6	103,5	136,6	178,1	225,8	,079
Methyl-Mesakonsäure	—	60,1	82,6	111	146	190	238	,094
Äthyl- „ ..	—	—	81,6	110,0	145,7	188,4	236	,093
Isopropyl- „ ..	—	—	—	109,5	145	188	235	,093
Methylitakonsäure	—	20,3	28,2	39,1	53,2	72,6	97,2	,0095
Äthylmaleïnsäure	—	91,5	122	158	199	242	282	,24
Pyrocinchonsäureanhydrid ..	—	—	30,2	41,8	57,9	79,1	108,2	,0108
Äthylmethylmaleïnsäureanhydrid	—	—	—	39,8	54,9	74,1	101,2	,0097
Glutakonsäure	—	28,0	39,2	54,0	74,8	101,6	135,8	,0183
Benzylglutakonsäure.....	—	—	36,4	51,0	69,2	95,2	126,9	,0153
Walden (4. 1892.) Trikarbonsäuren.								
Trikarballylsäure	—	30,3	42,4	58,6	80,5	109,8	149	,022
Methyl-Trikarballylsäure ..	—	35,7	49,8	68,6	93,7	124,8	163,9	,032
Äthyl- „ ..	—	36,0	50,1	68,8	92,0	124	161	,032
Propyl- „ ..	—	35,6	49,2	68,4	93,1	124,6	163,8	,031
Isopropyl- „ ..	—	41,6	57,4	78,5	104,9	139,7	181	,043
p-Tetramethyl- „ ..	—	20,4	28,6	40,2	55,4	76,4	104,4	,0098
α- „ „ ..	—	—	30,2	42,2	58,4	79,8	108,4	,0111
Citronensäure	—	—	76,8	103,7	138	178	227	,082
β-γ-Dikarboxy-γ-Valerolakton	—	138	175	215	252	292	329	,66
Akonitsäure	—	71,0	95,7	129	167	215	268	,136
Äthenyl-Trikarbonsäure....	—	103,2	136,4	173	217	263	310	,32
Propenyl- „	—	101,2	133,5	172	215	261	310	,305
Butenyl- „	—	101,2	134,5	172	216	263	310	,307
Isobutenyl- „	—	104,3	139,2	179	223	268	317	,334
α-β-Dimethyläthenyl-Trikarbonsäure	—	123,5	161,1	204	249	295	344	,50
Benzyläthenyl-Trikarbons..	—	232,7	275	306	336	351	366	3,2
Äthylmethylkarboxy-Glutarsäure	—	158,6	200,9	245	286	319	346	0,974
Propylmethylkarboxy-Glutarsäure.....	—	160,6	204	249	290	321	351	1,0

Digitized by Google

$v = 10^{-3}\varphi =$	16	32	64	128	256	512	1024	K
Walden (4. 1892.)								
Benzylmethylkarboxy-Glutarsäure	—	—	223	260	292	322	—	1,5
Trimethylentrikarbonsäure	—	156,3	198,5	243	281	323	361	0,91
n-Tetrakarbonsäure	—	—	55,5	76,3	104,1	139,4	185	,040
E. Franke (1895.)								
Fettsäuren.								
Ameisensäure[1]	22,6	31,2	43,2	59,2	80,6	108,8	143,6	0,021
Essigsäure[2]	6,50	8,9	12,9	18,1	25,4	34,3	49,0	,0018
Propionsäure	5,54	7,9	11,1	15,5	21,7	30,2	41,6	,0013
Buttersäure	5,84	8,3	11,7	16,3	22,9	31,9	44,6	,0015
Isobuttersäure	5,62	8,0	11,3	15,8	22,2	30,9	42,3	,0014
Norm. Valeriansäure	5,88	8,3	11,7	16,1	22,9	31,9	43,7	,0016
Isovaleriansäure	6,08	8,6	12,1	17,0	23,8	33,0	45,2	,0017
Norm. Kapronsäure	—	7,8	11,1	15,5	21,6	29,9	41,6	,0014
Isobutylessigsäure	—	8,0	11,2	15,8	22,1	30,8	42,9	,0014
Diäthylessigsäure	—	—	13,1	18,0	25,2	37,1	48,3	,0019
Heptylsäure	—	—	—	15,1	21,0	29,5	40,7	,0013
Kaprylsäure	—	—	—	—	21,9	30,5	42,8	,0014

$v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024
Trübsbach (1895.)						
Ureide.						
Karbamid	0,08	0,12	0,16	0,28	—	—
Thioharnstoff	0,07	0,12	0,14	0,21	—	—
Äthylenkarbamid	0,34	0,37	0,40	0,43	—	—
Hydantoin	0,09	0,10	0,11	0,13	—	—
Parabansäure	4,2	4,7	6,1	7,7	9,6	11,5
geht in der Lösung über in Karbamidoxalat	198	223	240	248	255	258
Methylparabansäure	2,7	3,4	4,0	4,8	5,4	6,4
geht über in Methylkarbamidoxalat	198	210	225	233	240	244
Dimethylparabansäure	0,3	0,4	0,5	—	—	—
Thioparabansäure	—	2,6	2,8	3,3	4,4	6,1
geht über in Thiokarbamidoxalat	275	312	336	362	372	382
Barbitursäure	20,8	29,0	40,5	56,1	82,8	103,4
Nitrobarbitursäure	336	348	353	355	357	360
Dichlorbarbitursäure	—	9,0	12,4	17,1	24,6	31,2
Dibrombarbitursäure	—	6,3	8,8	12,2	18,2	25,8
Alloxan	17,7	19,1	20,7	23,0	25,7	26,9
Methylalloxan	9,9	11,7	13,1	16,6	19,1	20,0

Für $v = 8$ ist $\Lambda =$ [1]) 16,2. [2]) 4,6 (Ostwald).

Digitized by Google

$v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024
Trübsbach (1895.)						
Dimethylalloxan	8,0	9,4	11,2	14,8	16,2	17,2
Methyluracil	—	0,21	0,29	0,44	0,57	0,93
Thiomethyluracil	—	—	—	—	1,81	2,51
Imidomethyluracil	—	—	0,81	1,14	1,68	2,34
Brommethyluracil	—	—	—	—	1,39	1,92
Chlormethyluracil	—	—	—	—	1,60	2,17
Nitromethyluracil	—	—	—	—	5,5	6,9
Nitrouracilkarbonsäure	340	353	362	367	369	373
Nitrouracil	—	—	7,7	10,9	15,2	21,3
Isonitrosoderivate.						
Acetoxim	0,07	0,09	0,13	0,18	—	—
Phenylmethylketoxim	—	—	0,26	0,36	0,56	0,72
Chinonoxim	—	—	3,7	5,1	7,0	9,8
α-Nitroso-α-Naphtol [1])	—	—	—	—	—	6,0
α-Nitroso-β-Naphtol	—	—	—	—	1,4	1,9
β-Nitroso-α-Naphtol	—	—	—	—	1,4	1,9

	$v_1 = 10^{-3}\varphi_1$	Λ						K
		v_1	$2v_1$	$4v_1$	$8v_1$	$16v_1$	$32v_1$	
Bethmann (1890.)	Liter gr-Mol.							
Substituirte Benzoësäuren.								
mm-Dinitrobenzoësäure	85,3	114,8	152,8	194,1	237,8	280,1	—	0,16
Metaamidometanitrobenzoësäure	83,3	43,0	62,4	87,5	118,2	154,4	195,4	0,021
mm-Diamidobenzoësäure	19,4	7,0	7,6	8,6	10,5	13,9	20,2	,0005
m-Jodbenzoësäure	1357	141,2	177,8	—	—	—	—	,016
p-Chlor-m-Nitrobenzoës.	390,5	130,9	169,0	209,9	—	—	—	,046
o-Chlor-m-Nitrobenzoës.	98,3	205,2	247,5	285,7	316,9	—	—	,6
o-Chlor-p-Nitrobenzoës.	32,1	164,0	208,2	252,6	292,1	322,1	—	1,03
p-Chlor-o-Nitrobenzoës.	245,7	289,3	316,2	338,7	355,5	—	—	1,0
Asymm. m-Chlor-o-Nitrobenzoësäure	70,4	238,8	278,1	310,7	338	359	376	1,5
Nitrovanillinsäure	600	88,3	115,8	148,9	—	—	—	0,012
Nitroveratrumsäure	126	181,2	219,0	254,1	—	—	—	,36
Nitrokuminsäure	2008	178,8	221,0	—	—	—	—	,021
Mesitylensäure	835,6	69,7	92,7	—	—	—	—	,0048
Uvitinsäure	241,3	89,1	124,2	169,3	231,3	—	—	,03
Trimesinsäure	55	60,3	90,9	133,8	179,8	239,9	311,4	—
Pyromellithsäure	69,9	256,4	318,4	386,5	460,0	538,4	615,9	—
Mellithsäure	69,9	449,4	523,8	601,5	683,2	765,1	850,4	—
α-Naphtoësäure	2133	178	—	—	—	—	—	,20
β- "	3124	136,8	—	—	—	—	—	,0068
α-(labile") Dihydro-α-Naphtoësäure	80,2	34,0	47,2	65,2	89,0	119,5	—	,0114

Für $v = 2048$ ist $\Lambda =$ [1]) 8,5.

Digitized by Google

	$v_1 = 10^{-3}\varphi_1$	Λ						K
		v_1	$2v_1$	$4v_1$	$8v_1$	$16v_1$	$32v_1$	
Bethmann (1890.)	Liter gr-Mol.							
β-(stabile)Dihydro-α-Naphtoësäure	335,1	56,5	76,9	105,6	137,2	—	—	0,0081
Tetrahydro-α-Naphtoës.	112,6	25,5	35,2	49,1	67,6	91,9	122,4	,0044
Zweibasische Säuren.								
Korksäure	86,2	18,7	26,5	36,9	51,5	71,7	—	,0031
Azelaïnsäure	84,2	18,2	25,5	35,0	50,0	69,8	—	,0030
Propylmalonsäure[1])	15,9	47,5	65,5	89,1	118,8	155,3	196,1	,113
Isopropylmalonsäure[2])	14,3	47,9	66,5	89,6	119,4	156,0	199,2	,127
Äthylmethylmalonsäure[3])	11,3	48,7	67,1	91,4	121,5	158,2	200,2	,167
Malonsäure[4])	23,3	68,8	93,5	124,7	163,3	207,3	254,8	,171
Äthylbernsteinsäure	44,2	22,5	30,7	43,9	60,5	82,7	111,8	,0086
Asymm. Dimethylbernsteinsäure[5])	33,8	19,2	26,9	37,4	51,8	70,9	96,0	,0082
Symm. Dimethylbernsteinsäure	139	58,1	79,3	107,8	142,8	—	—	,0204
Tetramethylbernsteinsäure	132,5	68,6	93,4	124,3	162,3	203,9	—	,0314
α-symm. Äthylmethylbernsteinsäure	201	67,9	91,9	123,4	162,3	—	—	,0198
β-symm. Äthylmethylbernsteinsäure	162	63,4	86,3	116,5	154,9	—	—	,0210
α-Methylglutarsäure	31,5	15,1	21,4	29,9	41,9	57,6	79,5	,0054
α-symm. Dimethylglutars.	101,6	26,4	37,2	51,9	71,6	98,8	—	,0053
β- „ „	93,2	25,8	36,0	50,3	70,3	97,2	—	,0055
α- „ Diäthylglutars.	139,5	31,5	43,5	60,5	83,6	115,5	—	,0055
Trimethylglutarsäure	85,3	19,7	27,7	38,7	53,3	73,0	—	,0035
Pyridin- und Thiazolabkömmlinge.								
Cinchomeronäthylesters.	150,1	89,7	119,5	154,3	192,8	—	—	,049
Cinchomeronmethylesters.	282,5	99,8	115,0	153,0	—	—	—	,033
Phenylhydrazid der Papaverinsäure	2124	341	—	—	—	—	—	,47
Ketoxim der Papaverinsäure	463,5	406	418	429	—	—	—	—
Pyropapaverinsäure	753	101,0	113,1	120,3	—	—	—	—
Ketoxim der Pyropapaverinsäure	883	61,8	71,5	—	—	—	—	—
Phenylhydrazid der Pyropapaverinsäure	1130	23,7	31,4	—	—	—	—	,0004
Thiazol-α-Methyl-β-Karbonsäure	131,0	70,1	99,5	133,0	174,6	221,9	—	,04
Mesomethylthiazol-α-Methyl-β-Karbonsäure	263,2	59,3	82,9	113,4	151,4	—	—	,012
Mesomethylthiazoldikarbonsäure	98,8	338,5	354,9	365,8	374,5	378	375	7
Benzilsäure	53,3	73,5	99,8	132,2	171,7	216,8	—	0,092

Für $64v_1$ ist Λ = [1]) 239,8. [2]) 244,5. [3]) 245,6. [4]) 300,3. [5]) 128,4.

Digitized by Google

	$v_1 = 10^{-3}\varphi_1$	Λ						K
		v_1	$2v_1$	$4v_1$	$8v_1$	$16v_1$	$32v_1$	
Bader (1890.)	Liter gr-Mol.							
Phenole.								
Phenol	25	0,15	0,25	0,44	—	—	—	—
Brenzkatechin	16,4	0,14	0,35	0,65	—	—	—	—
Resorcin	8,5	0,10	0,17	0,32	2,28	—	—	—
Hydrochinon	11,6	0,16	0,28	0,62	2,07	—	—	—
Guajakol	23,7	0,38	0,66	1,16	2,16	—	—	—
Phloroglucin	16,7	0,41	0,63	0,93	1,85	—	—	—
Pyrogallol	56	0,64	1,19	2,00	3,33	—	—	—
o-Kresol	19,3	0,35	0,49	—	—	—	—	0,0000042
m- „	20	0,21	0,31	0,48	0,84	—	—	,0000017
p- „	14,4	0,15	0,21	0,32	0,51	—	—	,0000011
Isobutylphenol	328	3,5	5,0	7,1	—	—	—	,000027
m-Xylenol	72	0,19	0,48	0,99	—	—	—	,000003
Orcin	26	0,11	0,23	0,51	0,98	—	—	—
o-Chlorphenol	40,6	0,46	0,65	0,99	1,68	—	—	,000004
p- „	64	0,44	0,70	1,30	2,41	—	—	,000002
o-Nitrophenol	250	4,4	5,5	7,7	11,0	—	—	,000043
m- „	128,1	1,3	1,8	2,6	3,6	—	—	,000009
p- „	35,6	0,8	1,1	1,5	2,3	3,2	—	,000012
α-Dinitrophenol (1:2:4)	172,6	41,7	57,5	79,4	107,7	—	—	,0080
β- „ (1:2:6)	157,3	57,6	78,3	106,6	139,9	—	—	,0174
γ- „ (1:3:6)	498,6	21,3	30,1	41,9	—	—	—	,0007
δ- „ (1:3:4)	187	9,9	13,7	20,2	28,8	—	—	,0004
ε- „ (1:2:3)	109,5	13,6	19,0	26,8	40,5	—	—	,0012
Pikrinsäure	142,5	360	366	369	371	—	—	—
O-NH_2 p-NO_2-Phenol	202,5	2,8	3,8	5,6	—	—	—	,000026
Orthochlorparanitrophenol	345,2	83,8	111,1	146,2	—	—	—	,018
Dichlorparanitrophenol	374	89,7	121,4	161,2	—	—	—	,021
Flüchtiges Nitroresorcin	299	22,7	32,0	43,5	—	—	—	,0013
Nichtflüchtiges „	120	4,2	5,9	8,7	12,8	—	—	,00012
Styphninsäure	101,4	355	360	368	373	—	—	—
Dinitrohydrochinon	200	42,8	57,7	79,7	112,3	—	—	,0071
Cyanamide.								
Acetylcyanamid	24,8	22,7	31,4	43,5	58,0	81,3	109,0	,015
Butyrylcyanamid	35,9	22,1	31,4	44,6	61,4	83,9	112,6	,011
Isovalerylcyanamid	43,2	27,7	38,7	59,2	77,1	99,4	131,5	,0139
Laktocyanamid	33,1	1,2	1,4	1,7	2,3	—	—	,00003
Benzoylcyanamid	88	124,7	161,5	202,4	242,4	280,5	—	,18
Cyanamidokohlensäureäther	49,6	54,2	72,1	99,4	130,8	168,1	—	,047
Succincyanamid	157,5	36,6	41,9	50,6	66,5	—	—	,006
Succincyaminsäure	61,9	48,6	65,7	88,4	118,3	156,1	—	,030
Äthylsulfoncyanamid	104,4	10,2	13,4	17,7	24,1	—	—	,0007
Benzolsulfoncyanamid	115	13,5	19,9	27,7	39,0	—	—	,0013

Digitized by Google

	$v_1 = 10^{-3}\varphi_1$	Λ						K
		v_1	$2v_1$	$4v_1$	$8v_1$	$16v_1$	$32v_1$	
Bader (1890.)	Liter gr-Mol.							
α-Naphtalinsulfoncyanamid	1950	61,5	81,4	—	—	—	—	0,0003
β-Naphtalinsulfoncyanamid	2368	120,7	144,0	—	—	—	—	,0069
Cyanursäure	130,7	2,6	3,8	5,3	7,5	—	—	,00004
Karbonsäuren.								
β-Naphtoësäure	3400	128,1	—	—	—	—	—	,0052
Δ^1-Dihydro-β-Naphtoës.	1795	77,0	103,7	—	—	—	—	,0029
Δ^3-Dihydro-β-Naphtoës.	226,7	38,2	53,1	73,7	—	—	—	,0051
Tetrahydro-β-Naphtoës.	205,8	25,4	36,0	50,2	69,4	—	—	,0025
α-Thiophensäure	82,3	57,1	78,6	107,2	139,9	182,3	—	,033
Tetrahydro-α-Thiophens.	17,7	16,3	23,5	33,0	45,9	63,4	86,3	,0115
Phenylglyoxylsäure	29,1	269	300	320	335	340	347	—
Ketoxim derselben Säure	59	101,3	138,1	178,3	223,9	258,9	—	,18
Isozimmtsäure	50,1	31,7	44,4	61,3	83,9	112,6	—	,0156
Mesomethylphenmiazolmonokarbonsäure	760,7	10,2	14,3	—	—	—	—	,0001
Dimethylglutarsäure	132	28,9	40,9	56,8	77,1	—	—	,0051
α-Truxillsäure	4332	154,0	209,1	—	—	—	—	,0050
γ- „	570	87,0	119,3	158,6	—	—	—	,011
Walden (4. 1892.)								
Monokarbonsäuren.								
I. Derivate der Essigsäure.								
Anilidoessigsäure	128	24,2	35,1	49,6	67,9	—	—	0,0038
Acetanilidoessigsäure	200	77,5	104,5	138	180	—	—	,0260
Chloracetanilidoessigs.	200	87,2	115,6	153	195	—	—	,0340
Bromacetphenylglycin	200	87,0	115	152	192	—	—	,0340
Acetbromanilidoessigs.	300	95,1	128	167	—	—	—	,0285
o-Toluidoessigsäure	200	37,1	53,4	73,4	99,4	—	—	,0059
Acet-o-Toluidoessigsäure	194	69,6	94,8	126,4	162,8	—	—	,0219
p-Tolylglycin	200	18,9	28,5	41,9	—	—	—	,0015
Acetyl-p-Tolylglycin	200	71,1	95,9	128	—	—	—	,0219
α-Naphtylglycin	1040	63,0	83,5	—	—	—	—	,004
Acet-α-Naphtylglycin	283	79,8	108,0	141	—	—	—	,0207
β-Naphtylglycin	560	62,1	79,3	—	—	—	—	,006
Acet-β-Naphtylglycin	500	107,7	144	—	—	—	—	,024
Phenylimidodiessigsäure	210	197	239	280	—	—	—	,027
o-Tolylimidodiessigsäure	206	179	221	260	297	—	—	,209
p- „	300	185,3	220	—	—	—	—	,15
α-Naphtylimidodiessigs.	212	102,6	138	177	—	—	—	,051
β- „	200	185	227	265	—	—	—	,246
Äthylmethylessigsäure[1])	32	8,8	12,3	17,4	24,0	33,6	46,6	,0017
Diäthylessigsäure	76	14,4	20,3	28,6	39,5	54,0	—	,0020
Jodessigsäure	32	54,1	74,0	100,8	133,7	175,8	221	,075

Für $\frac{1}{2}v_1$ ist $\Lambda =$ [1]) 6,2.

Digitized by Google

	$v_1 = 10^{-3}\varphi_1$	Λ						K
		v_1	$2v_1$	$4v_1$	$8v_1$	$16v_1$	$32v_1$	
Walden (4. 1892.)	Liter gr-Mol.							
II. Derivate der Propionsäure.								
Anilido-Propionsäure ...	136	19,2	27,1	38,4	53,7	—	—	0,0022
Acetanilido- „ ...	128	44,7	61,6	84,1	112	—	—	,0125
o-Toluido-α- „ ...	207	30,8	44,6	63,0	—	—	—	,0039
Acet-o-Toluido-Propions.	300	59,5	82,5	110	—	—	—	,0104
p-Toluido-α- „	467	20,4	28,9	—	—	—	—	,0007
Acet-p-Toluido- „	300	59,5	82,3	110	—	—	—	,0104
Anilido-β-Propionsäure..	200	10,1	14,4	21,2	—	—	—	,0004
p-Toluido-β- „	200	8,3	10,5	14,9	—	—	—	,0002
α-Brompropionsäure	128	118,0	155,1	198,1	241	—	—	,108
β- „	32	20,8	29,0	39,9	56,0	75,9	101,8	,0098
α-α-Dibrompropionsäure.	32	238	278	314	337	356	369	3,3
α-β- „ .	32	140	177	222	264	304	355	0,67
α-Nitroso-Propionsäure..	32	45,5	62,2	83,7	110,3	145	185	,050
β-Nitro- „ .	32	26,6	36,6	50,1	67,7	92,2	—	,0162
III. Derivate der α-Normalbuttersäure.								
Anilido-Buttersäure	130	21,1	31,0	44,7	62,4	—	—	,0031
Acetanilido- „	320	61,8	86,2	117,2	—	—	—	,0109
o-Toluido- „	200	35,8	50,7	70,7	—	—	—	,0053
Acet-o-Toluido-Butters. .	290	55,8	76,7	103,9	—	—	—	,0092
p-Toluido-Buttersäure...	287	19,8	27,7	38,7	—	—	—	,0010
Acet-p-Toluido-Butters. .	300	60,3	83,4	112	—	—	—	,0107
α-Brombuttersäure	128	117	153	192	233	—	—	,106
IV. Derivate der Isobuttersäure.								
Anilido-β-Isobuttersäure.	200	5,2	7,5	10,9	—	—	—	,0001
Anilido-α- „ .	200	28,8	42,1	60,3	—	—	—	,0036
o-Toluido-β- „ .	200	10,1	14,6	21,1	—	—	—	,0004
p- „ -β- „ .	200	3,3	4,7	6,9	—	—	—	,00004
Acet-p-Toluido-β-Isobuttersäure	386	33,3	46,1	63,8	—	—	—	,0023
Acet-o-Toluido-β-Isobuttersäure	480	—	35,8	47,7	—	—	—	,0021
Acet-Anilido-β-Isobuttersäure	295	31,8	45,5	62,7	—	—	—	,0029
p-Toluido-α-Isobutters...	200	13,6	18,8	26,3	—	—	—	,0007
Acet-p-Toluido-α-Isobuttersäure	280	55,6	76,8	103,0	—	—	—	,0095
Acet-β-Naphtalido-β-Isobuttersäure	800	—	46,0	63,5	—	—	—	,0022
E. Franke (1895.)								
Pelargonsäure	1226	41,3	56,6	—	—	—	—	,0011
o-Tolursäure	256	74,4	100,1	133,0	—	—	—	,0193
m- „	253	76,8	102,3	137,0	175,1	—	—	,0210
p- „	275,4	78,0	104,6	138,6	177,9	—	—	,0200

Digitized by Google

	$v_1 = 10^{-3}\varphi_1$	Λ						K
		v_1	$2v_1$	$4v_1$	$8v_1$	$16v_1$	$32v_1$	
E. Franke (1895.)	Liter gr-Mol.							
o-Alanin-Tolursäure	411,4	85,2	115,0	150,6	—	—	—	0,0165
p- „ „	408,5	86,4	114,7	150,8	—	—	—	,0169
Phenacetursäure.....	133	56,4	76,8	103,7	137,1	—	—	,0202
Benzoylalanin.....	128	54,7	74,7	100,0	132,9	—	—	,0196
Benzoyl-Sarkosin.....	64	61,3	83,2	112,3	146,8	187,2	—	,050
Sarkosin	914	243,7	—	—	—	—	—	—
Alanin	64	0,4	0,5	0,9	1,6	2,8	—	—
Anisursäure.....	716,9	107,5	141,7	180,6	—	—	—	,016
Szyszkowski (1897.)								
β-Oxysäuren.								
Trimethyläthylenmilchs.	33,6	10,0	14,0	19,5	26,8	36,3	49,4	0,0022
Dimethyläthyläthylen-milchsäure	30,2	7,9	11,0	15,7	22,1	30,7	42,6	,0015
Dimethylisopropyläthy-lenmilchsäure.....	34,8	10,1	14,3	28,1	39,3	54,6	—	,0022
Dimethylisobutyläthylen-milchsäure	35,6	8,4	12,0	16,8	23,2	32,2	—	,0015
Dimethylhexyläthylen-milchsäure	124,4	17,8	24,3	31,9	43,9	57,8	—	,0019
Dimethylphenyläthylen-milchsäure	33,1	14,0	19,9	53,7	72,4	—	—	,0045
Äthylphenylmilchsäure..	29,7	11,0	15,8	22,1	30,3	42,1	62,9	,0031
Methylphenyläthylen-milchsäure	39,9	13,5	19,2	26,8	36,9	50,3	68,3	,0035
Isopropylphenyläthyl-milchsäure	36,7	16,5	23,3	32,7	45,3	61,9	84,5	,0057
Diäthyläthylenmilchs....	35,1	11,8	16,9	23,6	32,6	46,1	63,6	,0030
Trimethyläthylenmilchs.	19,7	9,9	13,8	19,3	26,6	36,7	50,1	,0036
Tetramethyläthylen-milchsäure	32,6	13,8	19,3	27,0	71,4	—	—	,0043
α-Oxysäure.								
Diisopropylglykolsäure..	32,5	23,5	32,8	45,3	61,6	83,0	113,2	,0127
Zweibasische Säuren.								
α-α-Dimethyl-β-Oxyglu-tarsäure.....	74,6	31,9	44,4	61,3	83,7	111,8	—	,0108
α-α-Dimethyl-β-Oxyace-tylglutarsäure	33,4	29,0	40,7	56,2	75,9	102,8	134,9	,020
α-α-Dimethylglutarsäure (Schmelzp. 140°)	207,6	38,7	53,3	73,6	100,7	—	—	,0058
α-α-Dimethylglutarsäure (Schmelzp. 127°)	293	11,6	59,5	81,7	—	—	—	,0052
Ungesättigte Säuren.								
Trimethylakrylsäure....	116,5	24,4	33,8	46,0	64,2	87,3	—	0,0039
Dimethylglutakonsäure .	32,5	23,7	33,0	45,5	61,4	75,9	109,3	,0129

Digitized by Google

	$v_1 = 10^{-3}\varphi_1$	Λ						K
		v_1	$2v_1$	$4v_1$	$8v_1$	$16v_1$	$32v_1$	
Smith (1898.)	Liter gr-Mol.							
Oxalsäurereihe.								
Glutarsäure [1])	14,9	9,9	13,9	19,5	27,4	38,0	52,5	0,00473
Adipinsäure	39,3	14,1	19,9	27,7	38,6	54,5	72,9	,00376
n-Pimelinsäure	32,4	11,8	16,7	23,4	32,7	45,2	62,0	,00323
Korksäure	43,9	13,3	18,7	26,2	36,5	50,4	68,7	,00299
Azelaïnsäure	68,2	15,2	21,3	30,1	42,2	58,8	—	,00253
Sebacinsäure	731	46,0	63,0	—	—	—	—	,0024
Malonsäuren.								
Heptylmalonsäure	199	134,1	173,0	215,3	255,8	—	—	,102
Oktylmalonsäure	450	174,7	216,4	257,5	289,9	—	—	,095
Cetylmalonsäure	256	2,8	4,3	6,5	11,5	—	—	—
Dipropylmalonsäure	64	216,1	251,7	290,8	320,7	341,1	—	1,12
Methylbenzylmalonsäure	64	125,7	163,4	205,3	247,2	283,4	311,8	0,26
β-Benzoylisobernsteins.	64	122,1	158,7	199,4	241,8	279,7	—	,25
Säuren ringförmiger Ketten.								
α-α-Trimethylendikarbonsäure	64	254,7	294,0	326,8	346,5	359,2	362,4	2,1
α-α-Tetramethylendikarbonsäure	64	76,1	102,6	135,2	174,3	216,9	—	0,08
trans-α-β-Pentamethylendikarbonsäure	64	30,4	42,5	58,7	79,9	106,7	—	,0113
Hydrirte Phtal- und Terephtalsäuren.								
$\Delta^{2,6}$-Dihydrophtalsäure	64	35,6	51,1	69,5	94,1	124,6	—	,0165
Δ^{2}-Tetrahydrophtalsäure	64	25,2	35,1	48,2	65,8	89,6	—	,0076
Δ^{1}-Tetrahydroterephtals.	321	44,6	61,3	84,0	113,3	—	—	,0050
cis-Hexahydroterephtals.	68,4	16,5	23,1	32,2	44,5	61,1	82,4	,0030
trans-Hexahydroterephtalsäure	204,6	33,4	47,6	65,5	89,2	—	—	,00456
Itakonsäuren.								
Itakonsäure	30,1	24,7	34,3	47,6	65,0	88,1	117,7	,015
Terakonsäure	49,6	30,0	40,8	57,8	77,5	104,3	—	,0140
Methyläthylitakonsäure	139,4	50,1	69,1	98,8	124,0	160,7	—	,0150
Methylphenylitakonsäure	56,9	40,8	56,5	77,3	103,8	137,0	176,0	,0236
$\Delta\beta\gamma$-Hydromukonsäure	64	29,2	40,8	55,8	76,3	102,4	—	,0102
$\Delta\alpha\beta$- „	66,7	43,1	53,2	66,8	84,7	109,8	—	—
i-Mesokamphersäure	64	12,8	18,0	25,0	34,9	48,1	—	,00187
Para-Dibrombernsteins.	138,5	393	460	531	595	—	—	—
Iso- „	65,2	302	349	394	441	494	547	—

[1]) Für $64v_1$ ist $\Lambda = 72{,}1$.

Digitized by Google

$v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	K
Ebersbach (1893.)										
Aromat. Amidosulfonsäuren.										
Methylanilinsulfonsäure	—	—	95,3	126,6	165,2	208,4	252,9	—	—	0,0665
Dimethylanilinsulfonsäure	39,0	58,9	73,8	99,8	132,4	—	—	—	—	,0375
Nitrodimethylanilinsulfonsäure	88,4	91,6	93,2	94,5	95,7	96,6	—	—	—	—
m-Nitroanilinsulfonsäure	—	191,9	239,7	291,1	345,5	—	—	—	—	,85
Dibromamidobenzolsulfonsäure	—	351,9	356,8	358,6	360,7	360,7	366,5	—	—	—
Dichloramidobenzolsulfonsäure	—	—	138,7	168,9	201,7	242,7	286,2	—	—	,16
o-Amidophenolsulfonsäure	—	28,2	39,3	54,4	74,4	100,5	133,3	—	—	,0094
p- „	—	—	—	17,1	23,9	33,4	—	—	—	,0008
Chloramidophenolsulfonsäure	—	—	36,8	51,0	69,9	94,8	—	—	—	,0082
o-Toluidinsulfonsäure (1 : 3 : 4)	32,4	44,9	61,9	84,0	113,1	—	—	—	—	,0250
o- „ (1 : 2 : 3)	54,4	74,5	100,8	133,5	173,2	—	—	—	—	,0753
p- „ (1 : 2 : 5)	57,5	78,6	106,1	140,1	180,3	224,8	—	—	—	,0850
p- „ (1 : 3 : 6)	13,4	18,9	26,3	36,8	50,8	—	—	—	—	,0041
m- „ (1 : 4 : 2)	—	—	72,7	98,3	130,5	169,2	—	—	—	,0357
Disulfonsäure des o-Toluidins	—	354	367	376	383	387	389	—	—	—
„ „ m- „	47,1	90,2	122,2	164,2	211,7	270,3	332,8	—	—	—
Amidobenzylsulfonsäure	—	—	20,1	28,0	39,0	53,9	—	—	—	,0023
Brom-o-Toluidinsulfonsäure (1 : 3 : 4)	—	—	—	169,7	196,6	227,4	258,0	—	—	,14
Dibrom-o- „ (1 : 3 : 4)	—	287,1	297,1	313,7	324,9	—	—	—	—	—
Brom-o- „ (1 : 2 : 3 : 5)	302,0	318,6	332,1	341,9	352,2	355,1	—	—	—	—
Brom-p- „ (1 : 3 : 6)	—	155,3	192,7	237,2	276,2	306,6	330,8	—	—	,45
Nitrotoluidinsulfonsäure	—	—	321,8	330,9	336,6	340,0	342,9	343,3	—	—
Toluylendiaminsulfonsäure	—	—	—	79,0	106,2	139,9	179,5	224,3	—	,0215
Jodtoluidinsulfonsäure	—	—	—	131,6	142,3	153,8	159,6	160,2	—	—
Nitrotolylhydrazinsulfonsäure	—	—	—	—	84,8	104,4	130,0	158,0	—	,013
α-Naphthylaminsulfonsäure (1 : 2)	—	253,7	291,1	319,4	339,5	349,2	358,8	—	—	2,20
α- „ (1 : 4)	—	—	—	—	—	275,8	301,5	316,7	323,0	0,20
α-Naphthylaminsulfonsäure (1 : 5)	—	—	—	82,1	108,3	139,1	178,9	—	—	,024
α- „ (1 : 6)	—	—	—	74,9	101,1	134,3	172,6	215,9	258,0	,0195
α- „ (1 : 7)	—	—	58,6	79,8	106,5	140,7	181,6	—	—	,0227
α- „ (1 : 8)	—	—	—	—	—	86,4	50,5	69,1	93,4	,0010
α-Naphthylamindisulfonsäure (1 : 2 : 5)	—	338	362	381	395	402	408	409	—	—

Digitized by Google

$v = 10^{-3}\varphi =$	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	K
Ebersbach (1893).										
α-Naphthylamindisulfonsäure (1 : 4 : 6)	—	211	244	279	313	334	356	367	373	—
α- „ (1 : 4 : 7)	185	219	258	294	332	358	377	389	—	—
α-Naphthylamintrisulfonsäure (1 : 2 : 4 : 7)†[1]	—	*181*	*192*	*206*	*223*	*233*	*248*	—	—	—
α- „ (1 : 3 : 6 : 8)†[2]	—	*198*	*221*	*255*	*288*	*326*	*341*	*368*	*408*	—
β-Naphthylaminsulfonsäure (2 : 5)	—	—	—	53,6	73,6	99,4	132,2	170,7	—	0,0094
β- „ (2 : 7)	—	—	—	—	76,3	103,0	132,8	166,4	—	,0102
β- „ (2 : 8)	—	—	—	—	82,7	111,2	146,2	184,6	—	,012
β- „ (2 : 6)	—	—	—	—	—	125,9	163,3	206,1	250,1	,0166
β-Naphthylamindisulfonsäure (2 : 4 : 8)	—	120,2	142,2	170,6	203,8	241,4	280,4	—	—	—
α-Naphthylphenylamintrisulfonsäure†[3] ...	—	—	—	—	*352*	*352*	*352*	*352*	—	—

$v = 10^{-3}\varphi =$	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	K
Lovèn (1. 1894.)											
Schwefelhaltige Derivate der Essig- und Propionsäure.											
Thiodiglykolsäure	10,6	15,8	22,9	32,4	44,8	62,1	85,0	114,2	149	195	0,049
α-Thiodilaktylsäure (monosymm.)	9,9	15,7	22,3	32,8	45,4	61,0	84,9	112,4	148	193	,049
α- „ (asymm.?).....	9,2	14,6	21,1	30,1	42,6	59,0	79,5	109,5	152(?)	193	,044
β- „	—	—	—	13,0	18,5	26,1	35,9	49,5	66,7	89,0	,0078
α-Thiolaktylglykolsäure.....	10,1	15,6	22,7	32,4	44,4	60,7	83,9	113	191	—	,048
β- „	—	—	16,7	23,7	33,2	46,4	63,6	85,8	111,1	145,2	,025
$\alpha\beta$-Thiodilaktylsäure	6,3	10,0	15,0	21,2	30,2	40,4	59,0	80,1	106,8	143,9	,021
α-Dithiodilaktylsäure	—	—	—	43,9	58,8	79,8	108,9	—	182,7	231,1	,090
β- „	—	—	—	—	—	—	—	55,6	72,2	97	,0090
α-Trithiodilaktylsäure	—	—	27,9	39,9	55,6	76,8	104,1	138,8	180,8	239,3	,080
Sulfodiessigsäure	53,5	76,8	104,7	138,8	179	230	281	350	407	463	1,30
α-Sulfodipropionsäure.....	—	63,8	90,6	121,8	165,9	210,2	265,4	324,0	379,2	447,1	1,03
β- „	—	—	—	—	—	—	61,8	82,4	111,2	148,4	0,024
α-Sulfopropionessigsäure	—	—	99,8	135,4	174,1	225,9	283,1	342,5	401	459	1,24
β- „	—	52,2	70,8	94,1	124,9	160,8	206,2	251,3	292,9	336,4	0,51

†C = [1]) 0,75. [2]) 1,50. [3]) 1,50.

Digitized by Google

6. Molekulares Leitvermögen organischer Basen.

$v = 10^{-3}\varphi =$ 8	16	32	64	128	256	K
Bredig (3. 1894.)						
Ammoniak	3,4	4,8	6,7	9,5	13,5	18,2	0,0023
Methylamin	15,1	21,0	28,9	39,3	53,0	70,0	,050
Äthylamin	14,8	21,0	28,9	39,2	52,9	70,2	,056
Normal-Propylamin	13,2	18,7	25,6	35,4	47,8	63,8	,047
Isopropylamin	13,8	19,8	27,5	37,3	50,4	66,7	,053
Isobutylamin	10,5	15,1	21,0	28,9	39,1	52,0	,031
Sekundäres Putylamin	12,3	17,7	24,6	33,8	45,8	61,1	,044
Trimethylkarbinamin	10,9	15,6	21,7	29,9	40,6	53,9	,034
Isoamylamin	13,1	18,7	26,0	35,5	47,7	63,2	,050
Dimethylamin	17,2	24,0	33,2	45,3	61,2	80,7	,074
Diäthylamin	20,4	28,8	39,7	53,8	71,8	92,7	,126
Dipropylamin	17,8	25,4	35,4	47,8	64,2	83,0	,102
Diisobutylamin	—	—	—	33,9	45,4	59,7	,048
Trimethylamin	5,3	7,7	10,9	15,4	21,4	29,4	,0074
Triäthylamin	14,2	20,5	29,0	39,5	53,5	71,0	,064
Tripropylamin †[1]	—	—	—	—	*60,8*	(*75,5*)	(,055)
Triisobutylamin †[2]	—	—	—	—	(*61,6*)	(*79,4*)	(,026)
Methyldiäthylamin	9,4	13,7	19,2	26,6	36,6	49,4	,027
Tetramethyl-Ammon.-Hydroxyd	—	219	—	226	—	(228)	—
Tetraäthyl- „ „	—	188	—	196	—	200	—
Neurin	—	216	—	223	—	224	—
Jodmethyltrimethyl-Ammon.-Hydroxyd	—	211	—	217	—	216	—
Tetramethyl-Phosphonium-Hydroxyd	—	214	—	221	—	223	—
Tetramethyl-Arsonium-Hydrox.	—	211	—	216	—	218	—
„ Stibonium- „	—	178	—	181	—	183	—
Triäthylsulfinium-Hydroxyd	—	211	—	217	—	(222)	—
Trimethyltellurinium- „	—	211	—	216	—	(214)	—
Zinntrimethyl-Hydroxyd †[3]	—	*0,4*	*0,5*	*0,7*	*0,9*	*1,5*	—
Quecksilberäthyl-Hydroxyd	—	1,2	—	1,4	—	1,9	—
Allylamin	4,7	6,7	9,5	13,2	18,2	25,1	,0057
Benzylamin	2,9	4,1	5,9	8,3	11,7	16,4	,0024
Piperidin	23,0	32,3	44,2	59,2	77,8	99,7	,158
Koniin	—	28,2	38,9	53,1	70,0	88,8	,132
Phenyltriäthyl-Ammon.-Hydr.	—	193	—	199	—	201	—
Hydrazin	1,4	1,7	2,1	2,7	3,8	5,5	(,0003)
Äthylendiamin	—	8,2	11,5	16,0	22,1	30,1	,0085
Trimethylendiamin	—	15,7	22,0	30,4	40,7	53,7	,035
Tetramethylendiamin	—	—	26,3	35,5	48,1	63,1	,051
β-Methyl-Tetramethyldiamin	—	—	—	36,2	48,8	64,9	,054
Pentamethylendiamin	—	21,6	30,2	41,1	55,4	72,5	,073
Guanidin	—	190	—	212	—	223	—
Piperazin	—	—	9,8	13,4	18,5	25,6	,0064

† $C =$ [1]) 1,63. [2]) 3,82. [3]) 1,08.

Digitized by Google

7. Temperaturkoefficienten des Leitvermögens von Lösungen.

I. Stellt man das Leitvermögen der Lösung durch die Formel

$$\varkappa_t = \varkappa_0 (1 + ct + c't^2)$$

dar, so ergeben sich nach Kohlrausch u. Grotrian 1875, Grotrian 1. 1874 (H_2SO_4), Kohlrausch 3. 1876 u. Otten 1887 (Fettsäuren) die folgenden Zahlen für den Bereich von 0 bis 40°. (Die Beobachtungen von Grotrian an H_2SO_4 von 0 bis 60 % reichen von 0 bis 70°.)

%	$\varkappa_0 \cdot 10^4$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$	%	$\varkappa_0 \cdot 10^4$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$
KCl				$MgCl_2$			
5	455	274	+ 71	5	433	300	+116
10	923	253	58	10	715	303	99
15	1402	236	51	30	602	371	295
20	1898	222	33	NH_4NO_3			
NH_4Cl				49,3	2561	235	19
5	610	269	67	BaN_2O_6			
10	1216	245	61	4,18	129,0	320	113
15	1826	223	47	Na_2SO_4			
20	2403	220	13	5,11	246,5	365	75
NaCl				15,37	481,7	465	+ 69
5	430	295	103	$KHSO_4$			
10	779	293	95	5,0	642	182	—152
15	1066	282	103	NaOH			
20	1255	293	101	2,61	256	298	+ 9
24	1320	314	104	42,7	639	889	4467
25,9	1339	310	135	HNO_3			
LiCl				6,2	2259	220	— 42
5	460	311	103	12,4	3980	206	— 29
10	781	291	111	24,8	5760	186	— 7
30	914	257	208	31,0	5828	192	— 12
40	487	349	327	37,2	5554	200	— 5
$BaCl_2$				49,6	4562	214	+ 15
5	250	294	90	62,0	3519	234	— 32
10	479	282	77	H_2SO_4			
15	698	267	80	5	—	177	— 62,1
24	1038	252	75	10	—	190	— 60,0
$SrCl_2$				15	—	203	— 55,9
5	309	296	91	20	—	216	— 49,8
10	580	276	97	25	—	227	— 41,6
$CaCl_2$				30	—	239	— 31,5
5	412	295	86	35	—	250	— 19,3
10	748	277	87	40	—	261	— 5,2
20	1151	263	87	45	—	271	+ 10,9
25	1168	278	75	50	—	280	29,1
30	1077	276	131	55	—	289	49,2
35	847	312	+156	60	—	298	71,4
				66,16	1664	336	+114

Digitized by Google

%	$\varkappa_0 \cdot 10^4$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$	%	$\varkappa_0 \cdot 10^4$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$
H_2SO_4				Essigsäure			
84,5	465	504	+626	4,33	8,05	289	— 92
96,4	521	349	321	9,79	10,08	294	— 84
99,4	42	383	1105	20,79	10,65	301	— 66
101,1	86	379	+651	30,46	9,04	306	— 56
				37,80	7,31	324	—121
$H_2C_2O_4$				49,37	4,93	306	+ 1
3,57	364	258	—131	58,32	3,16	310	8
7,14	554	262	—135	67,50	1,79	333	8
				90,87	0,14	436	+ 81
H_3PO_4				Propionsäure			
87,1	295	688	+510	10,08	7,46	285	— 68
				30,03	5,19	326	— 34
Ameisensäure				50,09	2,32	350	— 5
4,94	37,3	287	—124	69,99	0,51	352	+ 41
9,55	52,4	265	—107	Buttersäure			
20,34	69,9	243	— 88	5,02	6,00	259	— 81
29,83	74,8	229	— 76	10,07	6,77	270	— 89
39,95	71,8	218	— 66	20,01	5,83	309	—101
59,96	51,6	209	— 67	30,04	4,52	310	— 75
70,06	39,2	192	— 34	50,04	1,89	329	— 51
89,02	14,0	200	— 60	70,01	0,34	365	+ 20

$$c_{\frac{1}{2}(18+t)} = \frac{1}{\varkappa_{18}} \left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{\frac{1}{2}(18+t)}; \quad \text{beob.: } \frac{1}{\varkappa_{18}} \frac{\varkappa_t - \varkappa_{18}}{t - 18}.$$

Die Zahlen der Tabelle bedeuten $c_{\frac{1}{2}(18+t)} \cdot 10^4$.

(Sack 1891 u. Holland 1893.)

$\frac{18+t}{2}$	$CuSO_4$			$CuCl_2$					$MgSO_4$	NaCl
	P = 0,321 % $\varkappa_{18}$ = 0,00210 s_{18} =	0,5 % 0,00281	0,642 % 0,00347	1,40 % 0,0162 1,011	10,3 % 0,0802 1,0996	19,78 % 0,1034 1,2057	29,24 % 0,0988 1,3276	36,51 % 0,0747 1,4328	17,3 % 0,0494	26,4 % 0,215
14°	—	—	—	209	190	186	205	234	240	221
24	213	215	210	221	192	192	214	248	260	229
29	213	212	207	224	190	188	212	252	265	242
34	208	207	202	228	187	186	211	255	266	248
39	200	197	191	228	181	180	209	253	264	251
44	189	184	176	225	174	174	204	252	260	254
49	169	166	162	222	168	167	199	248	253	256
54	152	147	143	217	160	159	192	244	—	—
56,5	143	138	135	—	—	—	—	—	—	—
59	134	129	126	—	—	—	—	—	—	—
64	115	111	110	—	—	—	—	—	—	—
69	97	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Digitized by Google

(Kohlrausch 12. 1885.) $c_{22} = \frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{22}$; beob.: $\frac{1}{\varkappa_{18}}\frac{\varkappa_{26}-\varkappa_{18}}{8}$.

$1000\eta = m = 0{,}01$; $v = 100$.

KCl	0,0221	KJ	0,0219	$\frac{1}{2}K_2SO_4$	0,0223	$\frac{1}{2}Na_2CO_3$	0,0265
NH_4Cl	226	KNO_3	216	$\frac{1}{2}Na_2SO_4$	240	KOH	194
NaCl	238	$NaNO_3$	226	$\frac{1}{2}Li_2SO_4$	242	HCl	159
LiCl	232	$AgNO_3$	221	$\frac{1}{2}MgSO_4$	236	HNO_3	162
$\frac{1}{2}BaCl_2$	234	$\frac{1}{2}Ba(NO_3)_2$	224	$\frac{1}{2}ZnSO_4$	234	$\frac{1}{2}H_2SO_4$	125
$\frac{1}{2}ZnCl_2$	239	$KClO_3$	219	$\frac{1}{2}CuSO_4$	229	$\frac{1}{2}H_2SO_4$[2])	159
$\frac{1}{2}MgCl_2$[1])	241	$KC_2H_3O_2$	229	$\frac{1}{2}K_2CO_3$	249	$\frac{1}{3}H_3PO_4$[3])	137

[1]) $m = 0{,}018$. [2]) $m = 0{,}001$. [3]) $m = 0{,}006$.

(Arrhenius 6. 1889.) $c_{35} = \frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{35}$; beob.: $\frac{1}{\varkappa_{18}}\frac{\varkappa_{52}-\varkappa_{18}}{34}$.

	$c_{35}\cdot 10^4$					$c_{35}\cdot 10^4$			
$1000\eta = m =$	0,001	0,01	0,1	0,5	$1000\eta = m =$	0,001	0,01	0,1	0,5
KCl	233	232	228	218	$NaCHCl_2CO_2$	281	279	266	271
KJ	231	225	221	207	$NaHC_3H_4(CO_2)_2$	—	—	284	274
KBr	231	228	225	210	NaH_2PO_2	281	284	276	266
KNO_3	222	223	220	218	NaH_2PO_4	—	276	294	282
NaCl	253	254	246	241	NaOH	—	213	202	202
LiCl	255	258	250	243	HCl	163	158	153	152
$\frac{1}{2}BaCl_2$	250	248	244	225	HBr	159	154	151	150
$\frac{1}{2}MgCl_2$	254	253	248	243	HNO_3	154	152	147	143
$\frac{1}{2}CuSO_4$	256	226	198	198	$\frac{1}{3}H_3PO_4$	154	140	88	78
$NaCH_2CO_2$	268	274	261	271	H_3PO_3	148	110	58	41
$NaC_2H_5CO_2$	268	277	275	284	NaFl[1])	252	—	253	256
$NaC_3H_7CO_2$	270	282	280	293					

[1]) Die Werte gelten für c_{29} (zwischen 18 und 40°).

	$c_{35}\cdot 10^4$					$c_{35}\cdot 10^4$			
$1000\eta = m =$	0,002	0,01	0,05	0,2	$1000\eta = m =$	0,002	0,01	0,05	0,2
CH_3COOH	146	145	141	141	$C_6H_4(COOH)_2$	187	181	178	173
C_2H_5COOH	130	137	131	134	C_2HCl_2COOH	148	129	98	79
C_3H_7COOH	115	119	120	120	HFl[1])	68	45	37	45

[1]) Die Werte gelten für c_{38} (zwischen 26 und 40°).

(Arrhenius 6. 1889.) $c_{21,5} = \frac{1}{\varkappa_{18}}\left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{21,5}$; beob.: $\frac{1}{\varkappa_{18}}\frac{\varkappa_{25}-\varkappa_{18}}{7}$.

	$c_{21,5}\cdot 10^4$			$c_{21,5}\cdot 10^4$	
$1000\eta = m =$	0,05	0,25	$1000\eta = m =$	0,05	0,25
C_2H_5COOH	158	161	H_3PO_2	109	85
C_3H_7COOH	150	149	H_3PO_4	119	108
$C_6H_4(COOH)_2$	182	193	CH_3COOH	170	170[1])
$CHCl_2COOH$	127	108			

[1]) Für $m = 0{,}2$.

Digitized by Google

$$c_{58,7} = \frac{1}{\varkappa_{18}} \left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{58,7}; \text{ beob.: } \frac{1}{\varkappa_{18}} \frac{\varkappa_{99,4} - \varkappa_{18}}{81,4}.$$

(Krannhals 1890.)

$10^{-3}\varphi = v =$	$c_{58,7} \cdot 10^4$ 64	16	4	1	$10^{-3}\varphi = v =$	$c_{58,7} \cdot 10^4$ 64	16	4	1
KCl	240	236	223	199	$\frac{1}{2}$ Na_2SO_4	267	269	261	246
KBr	233	223	217	197	$\frac{1}{2}$ $BaCl_2$	249	263	234	—
KNO_3	244	226	217	214	$\frac{1}{2}$ BaN_2O_6	245	251	250	—
$KClO_3$	242	231	221	—	$\frac{1}{2}$ $MgSO_4$	204	193	187	187
NaCl	262	261	255	245	$\frac{1}{4}$ $K_4Fe(CN)_6$	207	214	209	206
$NaNO_3$	—	248	244	227	HCl	135	133	133	135

$$c_{\frac{1}{2}(25+t)} = \frac{1}{\varkappa_{25}} \left(\frac{d\varkappa}{dt}\right)_{\frac{1}{2}(25+t)}; \text{ beob.: } \frac{1}{\varkappa_{25}} \frac{\varkappa_t - \varkappa_{25}}{t-25}.$$

(Schaller 1898.)

$\frac{1}{2}(25+t)$	$10^{-3}\varphi = v = 1024$ $c_{\frac{1}{2}(25+t)} \cdot 10^4$					
	KCl	NaCl	$NaNO_3$	KNO_3	HCl	NaOH
32,5°	207,1	215,8	208,4	201,0	141,0	—
37,5	206,9	217,5	213,6	202,7	139,2	—
42,5	210,5	220,2	217,4	204,7	135,4	—
47,5	213,0	223,7	219,1	207,0	132,0	—
52,5	215,2	226,5	220,3	209,0	128,3	—
57,5	216,2	229,7	221,6	208,8	125,0	—
62,0	216,7	231,9	225,1	209,3	123,2	174,6

$$\varkappa_t = \varkappa_0 (1 + ct + c't^2) \text{ zwischen 0 und } 50^0.$$

(Euler 1896.)

$10^{-3}\varphi = v$	Benzoësäure		o-Toluylsäure		Salicylsäure		m-Oxybenzoësäure		m-Nitrobenzoësäure	
	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$
1000	284	—89,5	223	—122	—	—	—	—	—	—
800	284	—90	224	—128	—	—	—	—	—	—
600	282	—90	222	—120	290	—70,5	280	—95	282	—77
500	—	—	—	—	296	—74	280	—97	283	—78
400	279	—85	223	—133	299	—73	280	—97,5	283	—74,5
300	—	—	223	—134	303	—76	281	—100	286	—78
200	284	—92	—	—	306	—74	282	—103	282	—71
150	—	—	221	—133	—	—	—	—	—	—
100	284	—87	—	—	313	—81	280	—98	292	—82,5
50	299	—109,5	—	—	—	—	—	—	—	—

Digitized by Google

$\varkappa_t = \varkappa_{18}(1 + c(t-18) + c'(t-18)^2)$ zwischen 2 und 34°.

(Déguisne 2. 1895.)

$1000\,\eta$ (m)	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$	$c \cdot 10^4$	$c' \cdot 10^6$
	HCl		HNO_3		$\frac{1}{2}H_2SO_4$		NH_4Cl	
0,00005	172,4	+ 1,5	169,2	— 6,2	166,9	— 12,8	—	—
0,0001	166,0	+ 9,2	164,7	—14,7	166,9	— 12,8	221,3	+69,4
0,001	164,2	—15,5	163,0	—14,4	158,1	— 36,2	219,1	68,8
0,01	164,1	—17,3	161,7	—19,4	130,8	—101,5	217,5	68,7
0,05	—	—	—	—	—	—	215,0	62,5
	KCl		KNO_3		$\frac{1}{2}K_2SO_4$		KJ	
0,00005	219,4	—	213,0	+59,0	—	—	—	—
0,0001	219,4	+82,4	212,6	70,4	223,5	+83,2	215,8	+44,3
0,001	217,2	66,7	210,3	62,2	222,1	77,2	211,8	59,6
0,01	214,9	65,3	209,8	57,1	219,9	69,0	—	—
0,05	212,7	61,3	208,7	56,2	217,7	65,6	209,4	57,3
	NaCl		$NaNO_3$		$\frac{1}{2}Na_2SO_4$		$AgNO_3$	
0,00005	227,3	+90,1	—	—	—	—	—	—
0,0001	228,4	74,0	222,8	+73,4	234,8	+99,0	217,5	+75,9
0,001	226,9	85,0	220,4	80,0	233,9	98,0	216,3	67,7
0,01	225,5	84,8	218,9	72,8	232,7	93,1	215,2	64,3
0,05	223,8	79,5	218,1	76,0	231,5	89,0	214,2	61,7
	$\frac{1}{2}BaCl_2$		$\frac{1}{2}BaN_2O_6$		$\frac{1}{2}MgSO_4$		$\frac{1}{2}Na_2CO_3$	
0,0001	227,1	+87,7	222,2	+76,2	239,2	+92,5	237,0	+112,4
0,001	224,8	83,1	220,2	78,1	236,4	95,5	262,4	151,2
0,01	224,1	78,3	220,2	72,4	228,5	70,6	253,6	143,1
0,05	220,7	70,2	222,0	72,5	223,0	49,0	246,0	120,7
	$\frac{1}{3}H_3PO_4$		$C_2H_4O_2$		$\frac{1}{2}C_2H_4(CO_2H)_2$		$\frac{1}{2}C_2H_2O_4$	
0,00005	206,6	+75,6	184,2	— 23,4	198,5	+ 7,0	—	—
0,0001	174,2	+ 6,8	179,0	—31,2	187,3	—24,1	155,1	—54,5
0,001	158,8	—28,1	167,8	—58,9	185,0	—28,2	155,4	—41,6
0,01	146,3	—61,6	165,8	—62,5	187,0	—25,9	156,8	—36,7
0,05	136,3	—78,2	—	—	—	—	—	—
	$\frac{1}{3}NaH_2PO_4$		$NaC_5H_9O_2$		$\frac{1}{2}NaC_4H_5O_4$		KOH	
0,00005	—	—	—	—	231,1	+124,5	—	—
0,0001	243,1	+116,3	229,4	+81,2	234,8	119,0	—	—
0,001	240,6	104,5	243,0	110,9	241,2	109,2	193,6	+39,3
0,01	236,6	101,4	245,6	115,3	240,7	101,1	190,1	32,3
0,05	—	—	245,9	113,7	238,8	104,4	—	—
0,1	237,0	105,2	—	—	—	—	—	—
	RbCl							
0,01	210,7	+58,5						

Digitized by Google

8. Jonen-Beweglichkeiten in wässriger Lösung bei 18°.

Die Summe der Beweglichkeiten des Kations und des Anions gibt nahe das Äquivalent-Leitvermögen bei der betreffenden Koncentration. Vgl. S. 101.

8a. Elektrolyte aus 1- und 1- oder 1- und 2-wertigen Jonen.

1000η (m)	K	Na	Li	NH_4	Ag	$\frac{1}{2}$Ba	$\frac{1}{2}$Sr	$\frac{1}{2}$Ca	$\frac{1}{2}$Mg	$\frac{1}{2}$Zn	H	$\frac{1}{1000}\varphi$ (v)
0	65,3	44,4	35,5	64,2	55,7	57,3	54,0	53,0	49	47,5	318	∞
0,0001	64,7	43,8	34,9	63,6	55,4	55,0	51,7	50,6	47	45,1	316	*10000*
0,0002	64,4	43,6	34,7	63,4	55,1	54,3	51,0	50,0	46	44,5	316	*5000*
0,0005	64,1	43,3	34,4	63,0	54,9	53,3	50,0	48,9	45	43,5	315	*2000*
0,001	63,7	42,9	34,0	62,7	54,7	52,2	48,9	47,8	43	42,3	314	*1000*
0,002	63,2	42,4	33,5	62,2	54,2	50,7	47,4	46,4	42	40,9	313	*500*
0,005	62,3	41,4	32,6	61,2	53,2	48,2	44,9	43,9	40	38,4	311	*200*
0,01	61,3	40,5	31,6	60,2	51,9	45,7	42,4	41,4	37	35,9	310	*100*
0,02	60,0	39,2	30,3	59,0	50,0	42,7	39,4	38,3	34	32,9	307	*50*
0,03	59,2	38,3	29,4	58,1	48,6	40,5	37,2	36,1	32	30,7	305	*33⅓*
0,05	57,9	37,0	28,2	56,8	46,6	37,7	34,4	33,4	29	27,9	302	*20*
0,1	55,8	35,0	26,1	54,8	43,3	33,8	30,5	29,4	25	24,0	296	*10*

1000η (m)	Cl	J	NO_3	ClO_3	$C_2H_3O_2$	$\frac{1}{2}SO_4$*	$\frac{1}{2}C_2O_4$	$\frac{1}{2}CO_3$	OH
0	65,9	66,7	60,8	56,2	33,7	69,7	63	—	174
0,0001	65,3	66,1	60,2	55,5	33,1	67,2	61	—	172
0,0002	65,1	65,9	60,0	55,2	33,0	66,6	60	—	172
0,0005	64,8	65,5	59,6	54,6	32,8	65,4	59	—	171
0,001	64,4	65,1	59,3	54,1	32,6	64,0	58	69	171
0,002	63,9	64,6	58,8	53,4	32,4	62,3	56	66	170
0,005	63,0	63,7	57,8	52,4	31,6	59,2	54	60	168
0,01	62,0	62,7	56,8	51,3	30,8	56,1	51	55	167
0,02	60,7	61,5	55,6	49,7	29,8	52,3	48	50	165
0,03	59,8	60,6	54,7	48,4	29,0	49,7	46	47	163
0,05	58,6	59,3	53,4	46,4	28,0	46,1	43	43	161
0,1	56,5	57,3	51,4	43,2	26,4	41,9	39	38	157

Ferner ist ungefähr die Beweglichkeit

$Br = Cl + 1$
$Fl = Cl - 20$
$BrO_3 = Cl - 19$
$JO_3 = Cl - 29$
$ClO_4 = Cl - 1$
$JO_4 = Cl - 17$.

*) Das Leitvermögen von H_2SO_4 ist nicht aus diesen Zahlen zu berechnen.

8b. Zweiwertige Jonen in gegenseitiger Verbindung.

1000η (m)	$\frac{1}{2}$Mg	$\frac{1}{2}$Zn	$\frac{1}{2}$Cu	$\frac{1}{2}$Cd	$\frac{1}{2}$Ba	$\frac{1}{2}$Sr	$\frac{1}{2}$Ca	$\frac{1}{2}SO_4$	$\frac{1}{2}C_2O_4$	$\frac{1}{1000}\varphi$ (v)
0	48	47	49	—	57	54	53	70	63	∞
0,0001	44	43	47	—	53	49	49	66	61	*10000*
0,0002	43	42	46	—	52	48	48	65	60	*5000*
0,0005	42	40	44	—	50	45	46	63	58	*2000*
0,001	40	38	41	37	47	43	44	60	56	*1000*
0,002	38	36	37	35	—	—	41	57	53	*500*
0,005	34	31	31	30	—	—	35	51	—	*200*
0,01	31	27	27	26	—	—	31	46	—	*100*
0,02	27	24	22	21	—	—	—	41	—	*50*
0,03	25	22	20	18	—	—	—	38	—	*33⅓*
0,05	23	19	17	16	—	—	—	34	—	*20*
0,1	20	17	15	13	—	—	—	30	—	*10*

Digitized by Google

9. Überführzahlen des Anions

bei mittlerer Temperatur in wässriger Lösung von der Koncentration m gr-Äqu./Liter oder der Verdünnung $v = 1/m$. Vgl. S. 101.

Nach Hittorf, sowie Kuschel, Löb und Nernst, Kirmis, Bein, Hopfgartner und Kümmell interpolirt. Kleiner Druck bedeutet Unsicherheit der Angabe. Vgl. die Einleitung.

$1000\eta = m =$	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	3	5	7	10
K {Cl, Br, J}, NH_4Cl	0,506	,507	,507	,508	,509	,513	,514	,515	,515	,516	—	—	—
NaCl	—	—	,614	,617	,620	,626	,637	,640	,642	,646	,650	—	—
LiCl	0,63	,65	,67	,69	,71	,73	,739	,741	,745	,752	,763	,774	—
KNO_3	—	—	—	,497	,496	,492	,487	,482	,479	—	—	—	—
$NaNO_3$	—	—	—	,615	,614	,612	,611	,610	,608	,603	,585	—	—
$AgNO_3$	0,528	,528	,528	,528	,527	,519	,501	,487	,476	—	—	—	—
$KC_2H_3O_2$	—	—	—	,33	,33	,33	,331	,332	,332	,333	,335	—	—
$NaC_2H_3O_2$	—	—	—	,44	,43	,43	,425	,422	,421	,417	—	—	—
KOH	—	—	—	,735	,736	,738	,740	—	—	—	—	—	—
NaOH	—	—	,81	,82	,82	,82	,825	—	—	—	—	—	—
LiOH	—	—	—	,85	,85	,861	,873	,890	—	—	—	—	—
HCl	—	—	,172	,172	,172	,173	,176	,180	,185	,200	,238	,292	—
$\frac{1}{2}\,BaCl_2$	0,56	,565	,575	,585	,595	,615	,640	,650	,657	—	—	—	—
$\frac{1}{2}\,CaCl_2$	0,58	,59	,61	,64	,66	,675	,686	,695	,700	,710	,737	,764	0,79
$\frac{1}{2}\,MgCl_2$	—	—	,63	,66	,68	,69	,709	,718	,729	,747	,776	,799	—
$\frac{1}{2}\,CdCl_2$	0,57	,58	,59	,62	,65	,69	,72	,73	,745	,767	,865	,995	—
$\frac{1}{2}\,CdJ_2$	0,56	,59	,64	,71	,83	1,00	1,12	1,18	1,22	1,25	für 2,5	—	—
$\frac{1}{2}\,K_2CO_3$	—	—	,39	,40	,41	,435	,434	,421	,413	,404	,380	,355	—
$\frac{1}{2}\,Na_2CO_3$	—	—	,52	,53	,53	,54	,548	,546	,542	,530	—	—	—
$\frac{1}{2}\,MgSO_4$	—	—	,60	,64	,66	,70	,74	,75	,76	,760	—	—	—
$\frac{1}{2}\,CuSO_4$	—	,62	,626	,632	,643	,668	,696	,714	,720	—	—	—	—
$\frac{1}{2}\,H_2SO_4$	—	—	,193	,191	,188	,182	,174	,169	,168	,170	,190	,216	,268
$v =$	100	50	20	10	5	2	1	$\frac{2}{3}$	0,5	$\frac{1}{3}$	0,2	0,14	0,1

10. Volumbestimmung mit Wasser oder Quecksilber.

Wenn ein Glasgefäfs bei der Temperatur t, in Luft mit Messinggewichten gewogen, scheinbar w gr Wasser oder q gr Quecksilber faſst, so ist sein Volumen bei 18° gleich $w\,(1+\delta)$ oder $q\,.\,k$ ccm. — Der Volum-Ausdehnungskoefficient des Glases ist dabei = 0,000025 angenommen.

t	δ	k	t	δ	k	t	δ	k
0°	0,00164	0,073583	10°	0,00153	0,073698	20°	0,00278	0,073813
1	00156	73595	11	00160	73710	21	00297	73825
2	00150	73606	12	00169	73721	22	00317	73836
3	00145	73618	13	00178	73733	23	00338	73848
4	00142	73629	14	00189	73744	24	00360	73860
5	00140	73641	15	00201	73756	25	00383	73871
6	00140	73652	16	00214	73767	26	00407	73882
7	00141	73664	17	00229	73779	27	00431	73894
8	00143	73675	18	00244	73790	28	00457	73905
9	00147	73687	19	00260	73802	29	00484	73917
10	00153	0,073698	20	00278	0,073813	30	00512	0,073928

Digitized by Google

11. Löslichkeit von Salzen in Wasser bei 18°.

Nach Berzelius, Coppet, Dietz, Funck, Gay-Lussac, Kohlrausch, Kremers, Mulder, Mylius, Poggiale, Rammelsberg u. A. Vgl. Kohlrausch, Berl. Sitz.-Ber. 1897 S. 90; Comey, Dictionary of Solubilities 1896.

Bemerkungen hierzu s. S. 203.

	K 39,1	Na 23,0	Li 7,0	Ag 107,9	Tl 204,2	Ba 137,4	Sr 87,6	Ca 40,0	Mg 24,3	Zn 65,4	Pb 206,9	
Cl 35,5	290	317	560	0,0015	0,3	350	470	600	480	1250	15	*Q*
	3,9	5,42	13,3	$0,0_411$	$0,0_212$	1,7	3,0	5,4	5,1	9,2	0,05	*M*
	1,17	1,201	1,28	1	1	1,29	1,39	1,42	1,34	1,863	1,02	*s*
Br 80,0	540	710	1080	$0,0_34$	0,4	870	830	1060	840	2200	6	*Q*
	4,6	6,9	12,6	$0,0_52$	$0,0_214$	2,9	3,4	5,2	4,6	9,8	0,02	*M*
	1,36	1,51	1,72	1	1	1,71	1,69	1,80	1,655	2,660	1,01	*s*
J 126,9	990	1210	1130	$0,0_31$	0,08	1470	1320	1400	1140	2200	0,8	*Q*
	6,0	8,1	8,5	$0,0_34$	0,0,25	3,8	3,9	4,8	4,1	6,9	$0,0_32$	*M*
	1,71	1,89	1,83	1	1	2,2	2,1	2,1	1,909	2,725	1	*s*
Fl 19,1	722	44,4	2,7	1720	670	1,6	0,12	0,016	0,083	0,05	0,7	*Q*
	12,4	1,06	0,11	13,5	8	0,0092	0,0010	$0,0_320$	0,0013	$0,0_35$	0,003	*M*
	1,502	1,044	1,003	2,6	1,6	1	1	1	1	1	1	*s*
NO_3 62,0	270	630	500	1430	90	86	570	850	590	900	470	*Q*
	2,6	7,4	7,3	8,4	0,35	0,33	2,7	5,2	4,0	4,7	1,4	*M*
	1,16	1,38	1,20	2,1	1,1	1,07	1,43	1,548	1,384	1,664	1,38	*s*
ClO_3 83,5	64	690	1376	120	37	340	1170	1110	890	1240	1170	*Q*
	0,52	6,4	15,3	0,6	0,13	1,1	4,6	5,3	4,7	5,3	3,16	*M*
	1,04	1,4	1,815	1,1	1,04	1,3	1,839	1,729	1,594	1,914	1,947	*s*
BrO_3 128,0	63	330	1107	6	3,0	8	300	690	420	590	13	*Q*
	0,38	2,2	8,20	0,025	0,009	0,02	0,9	2,3	1,5	1,8	0,03	*M*
	1,05	1,23	1,833	1,02	1,01	1,01	1,3	1,5	1,4	1,6	1,01	*s*
JO_3 174,9	75	83	699	0,038	0,59	0,5	2,5	2,5	69,3	8,3	0,03	*Q*
	0,35	0,4	3,84	$0,0_313$	0,0016	0,001	$0,0_257$	0,007	0,26	0,020	$0,0_45$	*M*
	1,06	1,08	1,568	1	1	1	1	1	1,078	1,01	1	*s*
OH 17,0	1000	850	120	0,1	388	37	7,7	1,7	0,01	0,005	0,1	*Q*
	18	21	5,0	0,001	1,76	0,22	0,063	0,02	$0,0_52$	$0,0_45$	$0,0_24$	*M*
	1,7	1,58	1,117	1	1,357	1,04	1,01	1	1	1	1	*s*
SO_4 96,1	108	164	310	6	48	0,0023	0,11	2,1	340	510	0,05	*Q*
	0,62	1,15	2,8	0,020	0,09	$0,0_410$	$0,0_36$	0,015	2,8	3,1	$0,0_315$	*M*
	1,08	1,14	1,18	1,1	1,06	1	1	1	1,30	1,47	1	*s*
CrO_4 116,1	530	535	830	0,026	0,06	0,003	1,2	4	600	—	$0,0_32$	*Q*
	2,7	3,30	6,5	$0,0_48$	$0,0_31$	$0,0_414$	0,006	0,03	4,3	—	$0,0_66$	*M*
	1,37	1,409	1,574	1	1	1	1	1	1,422	—	1	*s*
C_2O_4 88,0	270	33	70	0,036	14,8	0,074	0,046	0,0058	0,14	0,006	0,002	*Q*
	1,6	0,24	0,69	$0,0_312$	0,030	$0,0_333$	$0,0_327$	$0,0_445$	0,0012	$0,0_44$	$0,0_56$	*M*
	1,162	1,02	1,04	1	1,012	1	1	1	1	1	1	*s*
CO_3 60,0	810	190	13	0,03	50	0,023	0,011	0,013	1	0,04 ?	0,003	*Q*
	5,9	1,8	0,17	$0,0_31$	0,10	$0,0_311$	$0,0_47$	$0,0_513$	0,01	$0,0_33$?	$0,0_41$	*M*
	1,56	1,17	1,010	1	1,06	1	1	1	1	1	1	*s*

Digitized by Google

12. Molekularer Wassergehalt und Dauerhaftigkeit von Salzen, die bei mittlerer Temperatur (um 18°) aus wässriger Lösung krystallisirt sind.

Nach einer Zusammenstellung von Mylius.

Das Metall des Salzes ist oben, der Säurebestandteil neben verzeichnet.

Die Ziffern geben die Wassermoleküle, die mit einem Salzmolekül verbunden sind, z. B. $BaCl_2 + 2H_2O$ etc. Vgl. S. 87!

Es bedeutet: *f* feuerbeständig, *l* luftbeständig, *v* verwitternd, *z* zerfließlich.

		Einwertige				Zweiwertige							
		K	Na	Li	Ag	Ba	Sr	Ca	Mg	Zn	Cd	Cu	Pb
Einwertige	Cl	0*f*	0*f*	0*f*	0*f*	2*l*	6*v*	6*z*	6*z*	1½*z*	2½*v*	2*z*	0*f*
	Br	0*f*	0*f*	0*f*	0*f*	2*l*	6*z*	6*z*	6*z*	2*z*	4*v*	4*v*	0*f*
	J	0*f*	0*f*	0*f*	0*f*	2*z*	6*z*	0*z*	8*z*	0*z*	0*l*	—	0*f*
	NO_3	0*l*	0*l*	0*z*	0*l*	0*l*	4*v*	4*z*	6*z*	6*z*	4*z*	6*z*	0*l*
	ClO_3	0*l*	0*l*	0*z*	0*l*	1*l*	5*z*	2*z*	6*z*	6*z*	2*z*	6*z*	1*l*
	BrO_3	0*l*	0*l*	0*z*	0*l*	1*l*	1*l*	1*l*	6*v*	6*l*	2*l*	6*l*	1*l*
	JO_3	0*l*	3*v*	0*z*	0*l*	1*l*	6*v*	6*v*	4*l*	2*l*	0*l*	1*l*	0*l*
	$C_2H_3O_2$	0*z*	3*z*	2*z*	0*l*	1*l*	½*l*	2*z*	4*z*	3*l*	3*z*	1*l*	3*l*
Zweiwertige	SO_4	0*f*	10*v*	0*f*	0*l*	0*f*	0*f*	2*l*	7*v*	7*v*	⅝*l*	5*l*	0*f*
	CrO_4	0*f*	10*v*	2*l*	0*l*	0*f*	0*f*	1*l*	7*v*	—	—	—	0*f*
	C_2O_4	1*l*	0*l*	0*l*	0*l*	1*l*	0*l*	1*l*	2*l*	2*l*	3*l*	1*l*	0*l*
	CO_3	1½*z*	10*v*	0*l*	0*v*	0*f*	0*f*	0*l*	3*v*	0*l*	0*l*	—	0*l*

Bemerkungen zu Tabelle 11.

1 Liter der bei 18° gesättigten Lösung enthält von dem Salz, dessen Metall über- und dessen Säurebestandteil nebengeschrieben ist, Q gr wasserfreier Substanz oder M gr-Moleküle. Die Molekulargewichte der Bestandteile (einwertige in Verbindung mit zweiwertigen zu verdoppeln!) sind beigeschrieben. s ist das spec. Gewicht der Lösung bei 18°.

Das feste, mit der Lösung in Berührung stehende Salz wird mit dem Krystallwassergehalt vorausgesetzt, der in Tab. 12 angegeben ist.

Wenn G das Molekulargewicht des wasserfreien Salzes bedeutet, so ist $Q = G \cdot M$

Der Gewichtsprocentgehalt der Lösung ist $= \frac{1}{10}\frac{Q}{s}$. Auf 1 Gewichtsteil Wasser sind $\frac{Q}{1000s - Q}$ Teile, auf 1 Molekül Wasser $18\,\frac{M}{1000s - Q}$ Moleküle wasserfreier Substanz in der Lösung vorhanden.

Kleiner Druck bedeutet Unsicherheit der Angabe, ein Fragezeichen, daß die Zahl nur eine rohe Schätzung ist.

Digitized by Google

13. Leitvermögen von Normalflüssigkeiten zur Bestimmung der Widerstands-Kapacität von Gefäßen.

Vgl. S. 75 bis 77.

Nach Kohlrausch, Holborn und Diesselhorst. Wied. Ann. **64**, S. 440 und 451. 1898.

t	H_2SO_4 (max.)		$MgSO_4$ (max.)		NaCl (gesättigt)		KCl normal		KCl $^1/_{10}$ normal		KCl $^1/_{50}$ normal		KCl $^1/_{100}$ normal	
	%		%		%		%		%		%		%	
0°	0,5184	120	0,02877	102	0,1345	41	0,06541	172	0,00715	21	0,001521	45	0,000776	24
1	5304	121	2979	104	1386	41	06713	173	0736	21	1566	46	0800	24
2	5425	122	3083	105	1427	42	06886	175	0757	22	1612	47	0824	24
3	5547	122	3188	106	1469	43	07061	176	0779	21	1659	46	0848	24
4	5669	123	3294	108	1512	43	07237	177	0800	22	1705	47	0872	24
5	5792	123	3402	110	1555	44	07414	179	0822	22	1752	48	0896	25
6	5915	123	3512	111	1599	44	07593	180	0844	22	1800	48	0921	24
7	6038	123	3623	112	1643	45	07773	181	0866	22	1848	48	0945	25
8	6161	124	3735	114	1688	46	07954	182	0888	23	1896	49	0970	25
9	6285	123	3849	114	1734	45	08136	183	0911	22	1945	49	0995	25
10	6408	124	3963	116	1779	47	08319	185	0933	23	1994	49	1020	25
11	6532	124	4079	118	1826	46	08504	185	0956	23	2043	50	1045	25
12	6656	124	4197	118	1872	47	08689	187	0979	23	2093	49	1070	25
13	6780	124	4315	119	1919	47_7	08876	187	1002	23	2142	51	1095	26
14	6904	124	4434	121	1966_7	47_9	09063	189	1025	23	2193	50	1121	26
15	7028	123	4555	121	2014_6	48_3	09252	189	1048	24	2243	51	1147	26
16	7151	124	4676	123	2062_9	48_6	09441	190	1072	23	2294	51	1173	26
17	7275	123	4799	123	2111_5	49_0	09631	191	1095	24	2345	52	1199	26
18	7398	124	4922	124	2160_5	49_4	09822	192	1119	24	2397	52	1225	26
19	7522	123	5046	125	2209_9	49_7	10014	193	1143	24	2449	52	1251	27
20	7645	123	5171	126	2259_6	50_0	10207	193	1167	24	2501	52	1278	27
21	7768	122	5297	127	2309_6	50_4	10400	194	1191	24	2553	53	1305	27
22	7890	123	5424	127	2360_0	51_1	10594	195	1215	24	2606	53	1332	27
23	8013	122	5551	128	2411_1	51_2	10789	195	1239	25	2659	53	1359	27
24	8135	122	5679	129	2462_1	51_2	10984	196	1264	24	2712	53	1386	27
25	8257	121	5808	129	2513_3	52_2	11180	197	1288	25	2765	54	1413	28
26	8378	121	5937	130	2565_5	51_3	11377	197	1313	24	2819	54	1441	27
27	8499	121	6067	130	2616_8	53_1	0,11574		1337	25	2873	54	1468	28
28	8620	120	6197	131	2669_9	52_1			1362	25	2927	54	1496	28
29	8740	120	6328	131	2721_0	53_1			1387	25	2981	55	1524	28
30°	0,8860		0,06459		0,2774				0,01412		0,003036		0,001552	

t	$\varkappa$
KCl 21 %	
$s_{18/4} = 1{,}14081$	
17°	0,2771
18	2817
19°	2864
KNO_3 10 %	
$s_{15/4} = 1{,}06418$	
16°	0,08048
17	8217
18°	8386
K_2SO_4 10 %	
$s_{20/4} = 1{,}08150$	
17°	0,08428
18	8602
19°	8776
Gypslösung gesättigt.	
15°	0,001742
16	1791
17	1841
18	1891
19	1940
20	1990
21°	2039

Digitized by Google

14. Atomgewichte (O = 16,00).

Nach den Zusammenstellungen von Clarke, Lothar Meyer und Seubert, Ostwald, Richards.

Ag	107,92	Cd	112,1	J	126,86	Pb	206,9
Al	27,11	Cl	35,45	K	39,14	Pt	195,0
As	75,0	Co	58,9	Li	7,03	Rb	85,4
Au	197,3	Cr	52,14	Mg	24,34	S	32,06
B	10,95	Cs	132,9	Mn	55,0	Sb	120,1
Ba	137,4	Cu	63,6	N	14,04	Si	28,4
Bi	208,5	Fe	56,02	Na	23,05	Sn	119,0
Br	79,96	Fl	19,05	Ni	58,7	Sr	87,62
C	12,00	H	1,008	O	16,00	Tl	204,2
Ca	40,04	Hg	200,0	P	31,02	Zn	65,4

15. Äquivalentgewichte *A* ($\frac{1}{2}$ O = 8,00) und elektrochemische Äquivalente *E* in mg/(Amp. sec.) einiger ein- oder zweiwertiger Jonen.

Kationen			Anionen		
	A	*E*		*A*	*E*
—	1	0,01036	Cl	35,45	0,3673
H	1,008	0,01044	Br	79,96	0,8283
K	39,14	0,4055	J	126,86	1,3142
Na	23,05	0,2388	Fl	19,05	0,1973
Li	7,03	0,07283	OH	17,01	0,1762
Ag	107,92	1,118	CN	26,04	0,2698
NH_4	18,07	0,1872	NO_3	62,04	0,6427
$\frac{1}{2}$ Ba	68,70	0,7117	ClO_3	83,45	0,8645
$\frac{1}{2}$ Sr	43,81	0,4539	BrO_3	127,96	1,3256
$\frac{1}{2}$ Ca	20,02	0,2074	JO_3	174,86	1,8115
$\frac{1}{2}$ Mg	12,17	0,1261	CHO_2	45,01	0,4663
$\frac{1}{2}$ Zn	32,7	0,3388	$C_2H_3O_2$	59,02	0,6114
$\frac{1}{2}$ Cd	56,05	0,5807	$\frac{1}{2}$ O	8,00	0,08288
$\frac{1}{2}$ Cu	31,8	0,3294	$\frac{1}{2}$ S	16,03	0,1661
$\frac{1}{2}$ Fe	28,01	0,2902	$\frac{1}{2}$ SO_4	48,03	0,4976
$\frac{1}{2}$ Mn	27,5	0,2849	$\frac{1}{2}$ CrO_4	58,07	0,6016
$\frac{1}{2}$ Ni	29,35	0,3041	$\frac{1}{2}$ CO_3	30,00	0,3108
$\frac{1}{2}$ Pb	103,46	1,0718	$\frac{1}{2}$ C_2O_4	44,00	0,4558
$\frac{1}{2}$ Cr	26,07	0,2701	$\frac{1}{2}$ SiO_3	38,20	0,3957

Digitized by Google

16. Tabelle nach Obach zur Wheatstone-

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	0,0000	0,1111	0,2500	0,4286	0,6667	1,0000	1,500	2,333	4,000	9,00
1	0010	1123	2516	4306	6694	1,0040	1,506	2,344	4,025	9,10
2	0020	1136	2531	4327	6722	1,0080	1,513	2,356	4,051	9,20
3	0030	1148	2547	4347	6750	1,0121	1,519	2,367	4,076	9,31
4	0040	1161	2563	4368	6779	1,0161	1,525	2,378	4,102	9,42
5	0050	1173	2579	4388	6807	1,0202	1,532	2,390	4,128	9,53
6	0060	1186	2594	4409	6835	1,0243	1,538	2,401	4,155	9,64
7	0070	1198	2610	4430	6863	1,0284	1,545	2,413	4,181	9,75
8	0081	1211	2626	4451	6892	1,0325	1,551	2,425	4,208	9,87
9	0091	1223	2642	4472	6921	1,0367	1,558	2,436	4,236	9,99
10	0101	1236	2658	4493	6949	1,0408	1,564	2,448	4,263	10,11
11	0111	1249	2674	4514	6978	1,0450	1,571	2,460	4,291	10,24
12	0121	1261	2690	4535	7007	1,0492	1,577	2,472	4,319	10,36
13	0132	1274	2706	4556	7036	1,0534	1,584	2,484	4,348	10,49
14	0142	1287	2723	4577	7065	1,0576	1,591	2,497	4,376	10,63
15	0152	1299	2739	4599	7094	1,0619	1,597	2,509	4,405	10,76
16	0163	1312	2755	4620	7123	1,0661	1,604	2,521	4,435	10,90
17	0173	1325	2771	4641	7153	1,0704	1,611	2,534	4,464	11,05
18	0183	1338	2788	4663	7182	1,0747	1,618	2,546	4,495	11,20
19	0194	1351	2804	4684	7212	1,0790	1,625	2,559	4,525	11,35
20	0204	1364	2820	4706	7241	1,0833	1,632	2,571	4,556	11,50
21	0215	1377	2837	4728	7271	1,0877	1,639	2,584	4,587	11,66
22	0225	1390	2853	4749	7301	1,0921	1,646	2,597	4,618	11,82
23	0235	1403	2870	4771	7331	1,0964	1,653	2,610	4,650	11,99
24	0246	1416	2887	4793	7361	1,1008	1,660	2,623	4,682	12,16
25	0256	1429	2903	4815	7391	1,1053	1,667	2,636	4,714	12,33
26	0267	1442	2920	4837	7422	1,1097	1,674	2,650	4,747	12,51
27	0277	1455	2937	4859	7452	1,1142	1,681	2,663	4,780	12,70
28	0288	1468	2953	4881	7483	1,1186	1,688	2,676	4,814	12,89
29	0299	1481	2970	4903	7513	1,1231	1,695	2,690	4,848	13,08
30	0309	1494	2987	4925	7544	1,1277	1,703	2,704	4,882	13,29
31	0320	1507	3004	4948	7575	1,1322	1,710	2,717	4,917	13,49
32	0331	1521	3021	4970	7606	1,1368	1,717	2,731	4,952	13,71
33	0341	1534	3038	4993	7637	1,1413	1,725	2,745	4,988	13,93
34	0352	1547	3055	5015	7668	1,1459	1,732	2,759	5,024	14,15
35	0363	1561	3072	5038	7699	1,1505	1,740	2,774	5,061	14,38
36	0373	1574	3089	5060	7731	1,1552	1,747	2,788	5,098	14,63
37	0384	1587	3106	5083	7762	1,1598	1,755	2,802	5,135	14,87
38	0395	1601	3123	5106	7794	1,1645	1,762	2,817	5,173	15,13
39	0406	1614	3141	5129	7825	1,1692	1,770	2,831	5,211	15,39
40	0417	1628	3158	5152	7857	1,1739	1,778	2,846	5,250	15,67
41	0428	1641	3175	5175	7889	1,1786	1,786	2,861	5,289	15,95
42	0438	1655	3193	5198	7921	1,1834	1,793	2,876	5,329	16,24
43	0449	1669	3210	5221	7953	1,1882	1,801	2,891	5,369	16,54
44	0460	1682	3228	5244	7986	1,1930	1,809	2,906	5,410	16,86
45	0471	1696	3245	5267	8018	1,1978	1,817	2,922	5,452	17,18
46	0482	1710	3263	5291	8051	1,2026	1,825	2,937	5,494	17,52
47	0493	1723	3280	5314	8083	1,2075	1,833	2,953	5,536	17,87
48	0504	1737	3298	5337	8116	1,2124	1,841	2,968	5,579	18,23
49	0515	1751	3316	5361	8149	1,2173	1,849	2,984	5,623	18,61
50	0,0526	0,1765	0,3333	0,5385	0,8182	1,2222	1,857	3,000	5,667	19,00

Digitized by Google

Kirchhoff'schen Brücke. $\frac{a}{1000 - a}$

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
50	0,0526	0,1765	0,3333	0,5385	0,8182	1,2222	1,857	3,000	5,667	19,00
51	0537	1779	3351	5408	8215	1,2272	1,865	3,016	5,711	19,41
52	0549	1792	3369	5432	8248	1,2321	1,874	3,032	5,757	19,83
53	0560	1806	3387	5456	8282	1,2371	1,882	3,049	5,803	20,28
54	0571	1820	3405	5480	8315	1,2422	1,890	3,065	5,849	20,74
55	0582	1834	3423	5504	8349	1,2472	1,899	3,082	5,897	21,22
56	0593	1848	3441	5528	8382	1,2523	1,907	3,098	5,944	21,73
57	0604	1862	3459	5552	8416	1,2573	1,915	3,115	5,993	22,26
58	0616	1876	3477	5576	8450	1,2624	1,924	3,132	6,042	22,81
59	0627	1891	3495	5601	8484	1,2676	1,933	3,149	6,092	23,39
60	0638	1905	3514	5625	8519	1,2727	1,941	3,167	6,143	24,00
61	0650	1919	3532	5649	8553	1,2779	1,950	3,184	6,194	24,64
62	0661	1933	3550	5674	8587	1,2831	1,959	3,202	6,246	25,32
63	0672	1947	3569	5699	8622	1,2883	1,967	3,219	6,299	26,03
64	0684	1962	3587	5723	8657	1,2936	1,976	3,237	6,353	26,78
65	0695	1976	3605	5748	8692	1,2989	1,985	3,255	6,407	27,57
66	0707	1990	3624	5773	8727	1,3041	1,994	3,274	6,463	28,41
67	0718	2005	3643	5798	8762	1,3095	2,003	3,292	6,519	29,30
68	0730	2019	3661	5823	8797	1,3148	2,012	3,310	6,576	30,25
69	0741	2034	3680	5848	8832	1,3202	2,021	3,329	6,634	31,26
70	0753	2048	3699	5873	8868	1,3256	2,030	3,348	6,692	32,33
71	0764	2063	3717	5898	8904	1,3310	2,040	3,367	6,752	33,48
72	0776	2077	3736	5924	8939	1,3364	2,049	3,386	6,813	34,71
73	0787	2092	3755	5949	8975	1,3419	2,058	3,405	6,874	36,04
74	0799	2107	3774	5974	9011	1,3474	2,067	3,425	6,937	37,46
75	0811	2121	3793	6000	9048	1,3529	2,077	3,444	7,000	39,00
76	0823	2136	3812	6026	9084	1,3585	2,086	3,464	7,065	40,67
77	0834	2151	3831	6051	9120	1,3641	2,096	3,484	7,130	42,48
78	0846	2165	3850	6077	9157	1,3697	2,106	3,505	7,197	44,45
79	0858	2180	3870	6103	9194	1,3753	2,115	3,525	7,264	46,62
80	0870	2195	3889	6129	9231	1,3810	2,125	3,545	7,333	49,00
81	0881	2210	3908	6155	9268	1,3866	2,135	3,566	7,403	51,63
82	0893	2225	3928	6181	9305	1,3923	2,145	3,587	7,475	54,56
83	0905	2240	3947	6207	9342	1,3981	2,155	3,608	7,547	57,82
84	0917	2255	3966	6234	9380	1,4038	2,165	3,630	7,621	61,50
85	0929	2270	3986	6260	9417	1,4096	2,175	3,651	7,696	65,67
86	0941	2285	4006	6287	9455	1,4155	2,185	3,673	7,772	70,43
87	0953	2300	4025	6313	9493	1,4213	2,195	3,695	7,850	75,92
88	0965	2315	4045	6340	9531	1,4272	2,205	3,717	7,929	82,33
89	0977	2330	4065	6367	9569	1,4331	2,215	3,739	8,009	89,91
90	0989	2346	4085	6393	9608	1,4390	2,226	3,762	8,091	99,00
91	1001	2361	4104	6420	9646	1,4450	2,236	3,785	8,174	110,1
92	1013	2376	4124	6447	9685	1,4510	2,247	3,808	8,259	124,0
93	1025	2392	4144	6474	9724	1,4570	2,257	3,831	8,346	141,9
94	1038	2407	4164	6502	9763	1,4631	2,268	3,854	8,434	165,7
95	1050	2422	4184	6529	9802	1,4691	2,279	3,878	8,524	199,0
96	1062	2438	4205	6556	9841	1,4752	2,289	3,902	8,615	249,0
97	1074	2453	4225	6584	9881	1,4814	2,300	3,926	8,709	332,3
98	1086	2469	4245	6611	9920	1,4876	2,311	3,950	8,804	499,0
99	1099	2484	4265	6639	0,9960	1,4938	2,322	3,975	8,901	999,0
100	0,1111	0,2500	0,4286	0,6667	1,0000	1,5000	2,333	4,000	9,000	∞

Digitized by Google

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	42
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	38
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	35
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	32
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	30
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	28
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	26
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	25
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	24
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	22
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	21
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	20
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	19
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	19
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	18
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	17
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	16
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	16
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	15
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	15
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	14
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	14
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	13
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	13
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	13
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	12
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	12
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	12
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	11
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	11
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	11
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	10
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	10
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	10
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	10
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	10
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	9
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	9
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	9
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	9
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	8
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	8
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	8
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	8
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	8
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	8
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.

Digitized by Google

Logarithmen.

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	7
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	7
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	7
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	7
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	7
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	7
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	6
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	6
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	6
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	6
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	6
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	6
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	6
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	6
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	5
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	5
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	5
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	5
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	5
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	5
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	5
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	5
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	5
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	5
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	4
100	0 0000	0043	0087	0130	0173	0217	0260	0303	0346	0389	43
101	0 0432	0475	0518	0561	0604	0647	0689	0732	0775	0817	43
102	0 0860	0903	0945	0988	1030	1072	1115	1157	1199	1242	42
103	0 1284	1326	1368	1410	1452	1494	1536	1578	1620	1662	42
104	0 1703	1745	1787	1828	1870	1912	1953	1995	2036	2078	42
105	0 2119	2160	2202	2243	2284	2325	2366	2407	2449	2490	41
106	0 2531	2572	2612	2653	2694	2735	2776	2816	2857	2898	40
107	0 2938	2979	3019	3060	3100	3141	2181	3222	3262	3302	40
108	0 3342	3383	3423	3463	3503	3543	3583	3623	3663	3703	40
109	0 3743	3782	3822	3862	3902	3941	3981	4021	4060	4100	40
110	0 4139	4179	4218	4258	4297	4336	4376	4415	4454	4493	39
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.

Digitized by Google

18. Logarithmische Tabelle nach Obach zur

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	$-\infty$	9.0458	9.3979	9.6320	9.8239	0.0000	0.1761	0.3680	0.6021	0.9542
1	7.0004	0506	4006	6341	8257	0017	1779	3700	6048	9591
2	3019	0553	4033	6362	8275	0035	1797	3721	6075	9640
3	.4784	0600	4060	6382	8293	0052	1815	3742	6102	9689
4	.6038	0647	4087	6403	8311	0069	1838	3763	6130	9739
5	.7011	0694	4114	6423	8329	0087	1852	3784	6158	9789
6	.7808	0740	4140	6444	8347	0104	1870	3805	6185	9840
7	.8481	0785	4167	6464	8365	0122	1888	3826	6213	9891
8	.9066	0831	4193	6484	8383	0139	1906	3847	6241	9943
9	7.9582	0875	4220	6505	8401	0156	1924	3868	6269	0.9995
10	8.0044	0920	4246	6525	8419	0174	1943	3889	6297	1.0048
11	0462	0964	4272	6545	8437	0191	1961	3910	6326	0101
12	.0844	1008	4298	6566	8455	0209	1979	3931	6354	0155
13	.1196	1052	4324	6586	8473	0226	1997	3952	6382	0210
14	.1523	1095	4350	6606	8491	0243	2016	3973	6411	0264
15	.1827	1138	4376	6626	8509	0261	2034	3995	6440	0320
16	.2111	1180	4401	6646	8527	0278	2052	4016	6469	0376
17	.2379	1222	4427	6666	8545	0295	2071	4037	6498	0433
18	.2632	1264	4452	6686	8563	0313	2089	4059	6527	0490
19	.2871	1306	4478	6706	8580	0330	2108	4080	6556	0548
20	.3098	1347	4503	6726	8598	0348	2126	4102	6585	0607
21	.3314	1388	4529	6746	8616	0365	2145	4123	6615	0666
22	.3521	1429	4554	6766	8634	0382	2163	4145	6645	0726
23	.3718	1469	4579	6786	8652	0400	2181	4167	6674	0787
24	.3908	1509	4604	6806	8669	0417	2200	4188	6704	0849
25	.4089	1549	4629	6826	8687	0435	2218	4210	6734	0911
26	.4264	1589	4654	6846	8705	0452	2237	4232	6764	0974
27	.4433	1628	4678	6865	8723	0469	2256	4254	6795	1038
28	.4595	1667	4703	6885	8740	0487	2274	4276	6825	1102
29	.4752	1706	4728	6905	8758	0504	2293	4298	6856	1168
30	.4903	1744	4752	6924	8776	0522	2311	4320	6886	1234
31	.5050	1783	4777	6944	8794	0539	2330	4342	6917	1301
32	.5193	1821	4801	6964	8811	0557	2349	4364	6948	1369
33	.5331	1858	4826	6983	8829	0574	2367	4386	6979	1438
34	.5465	1896	4850	7003	8847	0592	2386	4408	7011	1508
35	.5595	1933	4874	7022	8864	0609	2405	4430	7042	1579
36	.5722	1970	4898	7042	8882	0626	2424	4453	7074	1651
37	.5846	2007	4922	7061	8900	0644	2442	4475	7105	1724
38	.5966	2044	4946	7081	8917	0661	2461	4498	7137	1798
39	.6083	2080	4970	7100	8935	0679	2480	4520	7169	1873
40	.6198	2116	4994	7119	8953	0696	2499	4543	7202	1950
41	.6310	2152	5018	7139	8970	0714	2518	4565	7234	2027
42	.6419	2188	5041	7158	8988	0731	2537	4588	7267	2106
43	.6526	2224	5065	7177	9005	0749	2555	4611	7299	2186
44	.6630	2259	5089	7197	9023	0766	2574	4633	7332	2268
45	.6732	2294	5112	7216	9041	0784	2593	4656	7365	2351
46	.6832	2329	5136	7235	9058	0801	2612	4679	7398	2435
47	.6930	2364	5159	7254	9076	0819	2631	4702	7432	2521
48	.7026	2398	5182	7273	9093	0836	2650	4725	7466	2608
49	.7120	2433	5206	7292	9111	0854	2669	4748	7499	2697
50	8.7212	9.2467	9.5229	9.7312	9.9128	0.0872	0.2688	0.4771	0.7533	1.2788

Digitized by Google

Wheatstone-Kirchhoff'schen Brücke. $\text{Log}\,\frac{a}{1000-a}$.

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
50	$\bar{8}.7212$	$\bar{9}.2467$	$\bar{9}.5229$	$\bar{9}.7312$	$\bar{9}.9128$	0.0872	0.2688	0.4771	0.7533	1.279
51	.7303	.2501	.5252	.7331	.9146	0889	2708	4794	7567	288
52	.7392	2534	5275	7350	9164	0907	2727	4818	7602	297
53	.7479	2568	5298	7369	9181	0924	2746	4841	7636	307
54	.7565	2602	5321	7388	9199	0942	2765	4864	7671	317
55	.7649	2635	5344	7407	9216	0959	2784	4888	7706	327
56	.7732	2668	5367	7426	9234	0977	2803	4911	7741	337
57	.7814	2701	5389	7445	9251	0995	2823	4935	7776	347
58	.7894	2733	5412	7463	9269	1012	2842	4959	7812	358
59	.7973	2766	5435	7482	9286	1030	2861	4982	7848	369
60	.8050	2798	5457	7501	9304	1047	2881	5006	7884	380
61	.8127	2831	5480	7520	9321	1065	2900	5030	7920	392
62	.8202	2863	5502	7539	9339	1083	2919	5054	7956	403
63	.8276	2895	5525	7558	9356	1100	2939	5078	7993	415
64	.8349	2926	5547	7576	9374	1118	2958	5102	8030	428
65	.8421	2958	5570	7595	9391	1136	2978	5126	8067	440
66	.8492	2989	5592	7614	9408	1153	2997	5150	8104	453
67	.8562	3021	5614	7633	9426	1171	3017	5174	8142	467
68	.8631	3052	5636	7651	9443	1189	3036	5199	8179	481
69	.8699	3083	5658	7670	9461	1206	3056	5223	8217	495
70	.8766	3114	5680	7689	9478	1224	3076	5248	8256	510
71	.8832	3144	5702	7707	9496	1242	3095	5272	8294	525
72	.8898	3175	5724	7726	9513	1260	3115	5297	8333	541
73	.8962	3205	5746	7744	9531	1277	3135	5322	8372	557
74	.9026	3236	5768	7763	9548	1295	3154	5346	8411	574
75	.9089	3266	5790	7782	9565	1313	3174	5371	8451	591
76	.9151	3296	5812	7800	9583	1331	3194	5396	8491	609
77	.9213	3326	5833	7819	9600	1348	3214	5421	8531	628
78	.9274	3355	5855	7837	9618	1366	3234	5446	8571	648
79	.9334	3385	5877	7855	9635	1384	3254	5471	8612	669
80	.9393	3415	5898	7874	9652	1402	3274	5497	8653	690
81	.9452	3444	5920	7892	9670	1420	3294	5522	8694	713
82	.9510	3473	5941	7911	9687	1437	3314	5548	8736	737
83	.9567	3502	5963	7929	9705	1455	3334	5573	8778	762
84	.9624	3531	5984	7948	9722	1473	3354	5599	8820	789
85	.9680	3560	6005	7966	9739	1491	3374	5624	8862	817
86	.9736	3589	6027	7984	9757	1509	3394	5650	8905	848
87	.9790	3618	6048	8003	9774	1527	3414	5676	8948	880
88	.9845	3646	6069	8021	9791	1545	3434	5702	8992	916
89	.9899	3674	6090	8039	9809	1563	3455	5728	9036	954
90	$\bar{8}.9952$	3703	6111	8057	9826	1581	3475	5754	9080	1.996
91	$\bar{9}.0005$	3731	6132	8076	9844	1599	3495	5780	9125	2.042
92	.0057	3759	6153	8094	9861	1617	3516	5807	9169	093
93	.0109	3787	6174	8112	9878	1635	3536	5833	9215	152
94	.0160	3815	6195	8130	9896	1653	3556	5860	9260	219
95	.0211	3842	6216	8148	9913	1671	3577	5886	9306	299
96	.0261	3870	6237	8167	9931	1689	3597	5913	9353	396
97	.0311	3898	6258	8185	9948	1707	3618	5940	9400	522
98	.0360	3925	6279	8203	9965	1725	3638	5967	9447	2.698
99	.0409	3952	6300	8221	$\bar{9}.9983$	1743	3659	5994	9494	3.000
100	$\bar{9}.0458$	$\bar{9}.3979$	$\bar{9}.6320$	$\bar{9}.8239$	0.0000	0.1761	0.3680	0.6021	0.9542	∞

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

14 DAY USE
RETURN TO DESK FROM WHICH BORROWED
BIOLOGY LIBRARY
TEL. NO. 642-2531
This book is due on the last date stamped below, or on the date to which renewed.
Renewed books are subject to immediate recall.

LD 21A-15m-2,'69
(J6057s10)476—A-32

General Library
University of California
Berkeley

Digitized by Google

121056

QD565
K6
Biochem.

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

Digitized by Google

Digitized by Google